

**PENGARUH KEKANGAN JARAK SENGKANG PADA PERILAKU
AKSIAL KOLOM BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT
MENGUNAKAN METODE JAKET BETON BERTULANG BAMBU**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**NUR RACHMAN
NIM. 145060101111027**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN**PENGARUH KEKANGAN JARAK SENGKANG PADA PERILAKU
AKSIAL KOLOM BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT
MENGUNAKAN METODE JAKET BETON BERTULANG BAMBU****SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



NUR RACHMAN
NIM. 145060101111027

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 11 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D
NIP. 19740619 200012 1 002

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH KEKANGAN JARAK SENGKANG PADA PERILAKU AKSIAL KOLOM
BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT MENGGUNAKAN METODE JAKET
BETON BERTULANG BAMBU

Nama Mahasiswa : Nur Rachman
NIM : 145060101111027
Program Studi : Teknik Sipil
Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D
Dosen Penguji II : Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)
Dosen Penguji III : Christin Remayanti N., ST., MT.

Tanggal Ujian : 2 Juli 2018
SK Penguji : 1273/UN10.F07/KP/2018

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

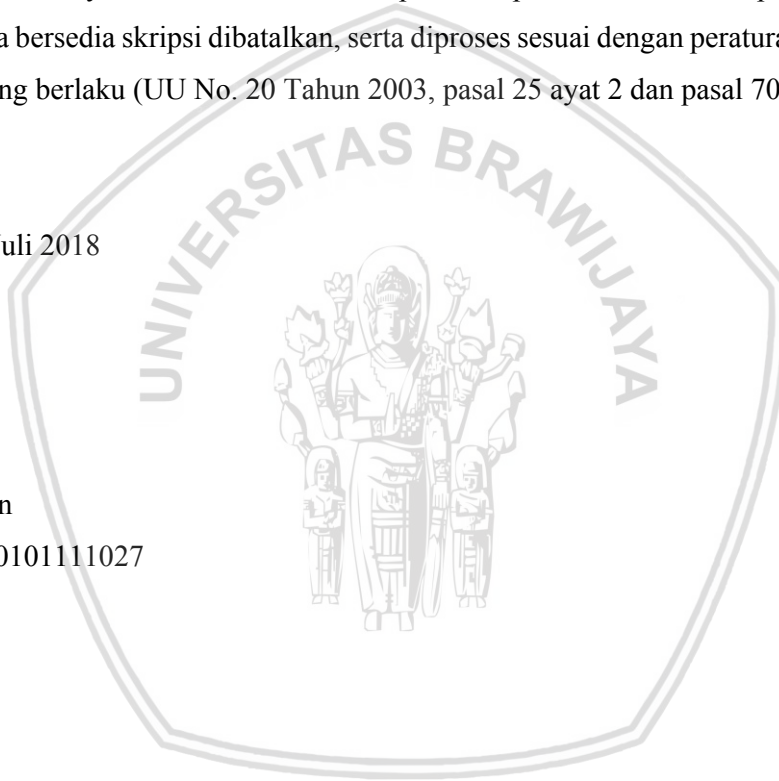
Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 17 Juli 2018

Mahasiswa,

Nur Rachman

NIM. 145060101111027



RIWAYAT HIDUP

Nur Rachman, kelahiran Sidoarjo, 22 November 1995, putra terakhir dari dua bersaudara. Memulai pendidikan formalnya di SDN Kedungturi 1 sejak tahun 2002 dan lulus pada tahun 2008. Melanjutkan pendidikannya setelah itu di SMPN 1 Taman, dan lulus di tahun 2011. Dan mengakhiri predikat siswa di SMAN 1 Taman Program Ilmu Pengetahuan Alam di tahun 2014.

Pada tahun 2014 juga melanjutkan ke jenjang selanjutnya, menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Selama perkuliahan aktif di kegiatan akademik maupun non akademik, meliputi mengikuti KJI kategori jembatan baja di tahun 2015 dan mendapatkan peringkat kedua dan juga mewakili Teknik Sipil Universitas Brawijaya dalam kompetisi internasional di Taiwan yaitu Asia Bridge Competition pada tahun 2017. Selain itu juga aktif dalam organisasi dengan mengikuti Himpunan Mahasiswa Sipil di Departemen Amara selama tiga tahun dari 2015-2017, puncaknya menjadi wakil ketua departemen Amara di tahun 2017.

Malang, 17 Juli 2018

Penyusun





*Sebuah ruang khusus kusediakan,
Untuk ucapan terimakasih kepada dua orang hebat dalam hidupku...
Terimakasih sudah selalu menyediakan,
Ruang khusus berisi doa untuk setiap keberuntunganku...
Semoga ini menjadi awal untukku mewujudkan besar harapan harapanmu...*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis diberikan kelancaran dan kemampuan untuk menyelesaikan sebuah skripsi yang penuh akan kenangan dan pelajaran dengan judul “Pengaruh Kekangan Jarak Senggang pada Perilaku Aksial Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat Menggunakan Metode Jaket Beton Bertulang Bambu”. Penulisan skripsi ini ditulis untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Skripsi ini mungkin tidak dapat diselesaikan dengan baik dan sempurna ini tanpa bimbingan dan bantuan secara teknis maupun non teknis dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Keluarga Saya di Rumah yang selalu mendoakan dan memberikan bantuan moral kepada saya tidak hanya dalam menyelesaikan skripsi, melainkan disemua kegiatan yang saya lakukan di Teknik Sipil Universitas Brawijaya
2. Bapak Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo., ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Dr. Eng Indradi W., ST, M.Eng (Prac) selaku Dosen Pembimbing II.
5. Ibu Christin Remayanti N., ST., MT yang juga tidak lupa membantu dan memberikan beberapa saran kepada saya dan tim penelitian dalam menyusun skripsi ini.
6. Dr. Ir. Wisnumurti., MT., selaku KKDK Struktur
7. Ir. A. Wicaksono, M.Eng, Ph.D selaku dosen penasehat akademik saya yang telah membimbing saya sejak menginjakkan kaki di Teknik Sipil Universitas Brawijaya
8. Tim Penelitian Skripsi (Ngakan Made Nabil A, Faishal Pramudito, Arya Bagus P, M Alif Farrasi, Novita Rahmasari), terdiri dari 6 mahasiswa biasa-biasa termasuk saya. Tetapi bantuan dan dukungan kepada saya sejak dari tim terbentuk yang tidak biasa.
9. Balapati Tim (Dicky Rosian P, Arga Yudhistira, Adista Fahara), selaku rekan dalam perjuangan di beberapa kompetisi yang telah memberikan pengalaman luar biasa
10. Punakawan Tim (Mas Hadi, Mas Aristo, Mas Ferry, Mas Christo), selaku senior S'12 yang sudah membimbing saya dalam berbagai hal di dalam dan di luar Sipil.
11. Keluarga Departemen AmerA, selaku wadah organisasi yang sudah menerima saya di dalamnya dan membantu dalam kelancaran penelitian.

12. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya, khususnya angkatan 2014 yang telah membantu selama penelitian ini berlangsung.

Dan masih banyak nama lainnya yang sudah membantu baik secara langsung maupun tidak bisa saya tulis di atas. Sekali lagi saya ucapkan terimakasih atas bantuan selama proses sebelum, pada saat, dan sesudah penelitian dilakukan. Hanya ucapan terimakasih sementara yang bisa saya ucapkan, semoga kebaikan pihak-pihak yang sudah tertulis dan belum sempat tertulis dibalas oleh kebaikan yang lebih dan dicatat amal baiknya.

Akhir kata, saya sadari bahwa tulisan dalam skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang positif sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Besar harapan saya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Malang, Juni 2018

Penyusun



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMMARY.....	xix
DAFTAR SIMBOL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan	3
1.6 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton Bertulang	5
2.2 Tulangan Baja	5
2.2.1 Tulangan longitudinal.....	8
2.2.2 Tulangan Transversal (Sengkang).....	9
2.3 Bambu.....	12
2.3.1 Bambu Petung	12
2.3.2 Bambu Apus.....	13
2.3.3 Kuat Tekan Bambu.....	13
2.3.4 Kuat Tarik Bambu	13
2.3.5 Perlakuan Bambu sebagai Tulangan	15
2.4 Kolom	15
2.4.1 Kolom Pendek dengan Beban Aksial Murni	16
2.5 Karakteristik Beton Bertulang	17
2.5.1 Modulus Elastisitas.....	17
2.5.3 Daktilitas.....	18
2.5.4 Tegangan – Regangan	19
2.6 Perkuatan Kolom dengan Metode <i>Concrete Jacketing</i>	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Bahan Penelitian	21
3.2.1 Pozzolan Portland Cement	21
3.2.2 Agregat	21
3.2.3 Air	21
3.2.4 Tulangan Baja	22
3.2.5 Tulangan Bambu	22
3.2.6 Sika Grout	22
3.2.7 Bahan Perekat Beton	22
3.3 Peralatan Penelitian	22
3.3.1 Saringan	22
3.3.2 Timbangan	22
3.3.3 Mesin Pengaduk Beton	23
3.3.4 Cetakan Benda Uji	23
3.3.5 Alat Uji Tekan	23
3.3.6 Alat Uji Tarik	23
3.3.7 Dial Gauge Digital	23
3.3.8 Alat Bantu Lainnya	23
3.4 Tahapan Penelitian	24
3.5 Rancangan Penelitian	25
3.6 Variabel Penelitian	30
3.7 Prosedur Penelitian	30
3.7.1 Pengujian Bahan Dasar	30
3.7.2 Pembuatan Benda Uji	30
3.7.3 Perawatan Benda Uji	31
3.7.4 Pengujian Kuat Tekan	31
3.7.5 Pengujian Kuat Tarik	33
3.8 Metode Analisis	33
3.8.1 Pengumpulan Data	33
3.8.2 Pengolahan Data	35
3.9 Hipotesis Penelitian	41
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Analisis Material Penyusun Benda Uji	43
4.1.1 Agregat Halus	43

4.1.2	Agregat Kasar	43
4.1.3	Semen	43
4.1.4	Air.....	43
4.1.5	Tulangan Baja.....	48
4.2	Campuran Beton	48
4.3	Uji Slump Beton	48
4.4	Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder.....	49
4.5	Pengujian Kuat Beban Aksial Kolom.....	51
4.6	Pembahasan	58
4.6.1	Hubungan Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Asli dengan Kolom Retrofit... 58	
4.6.1.1	Kolom Asli C.1 – Kolom Retrofit C.1	60
4.6.1.1	Kolom Asli C.2 – Kolom Retrofit C.2	67
4.6.1.3	Kolom Asli D.1 – Kolom Retrofit D.1	75
4.6.1.4	Kolom Asli D.2 – Kolom Retrofit D.2.....	82
4.6.2	Hubungan Tegangan dan Regangan Kolom Asli dengan Kolom Retrofit 91	
4.6.2.1	Kolom Asli C.1 – Kolom Retrofit C.1	93
4.6.2.2	Kolom Asli C.2 – Kolom Retrofit C.2	100
4.6.2.3	Kolom Asli B.1 – Kolom Retrofit D.1	108
4.6.2.4	Kolom Asli B.2 – Kolom Retrofit D.2.....	115
4.6.3	Daktilitas Kolom Asli dengan Kolom Retrofit.....	123
4.7	Efektifitas Kolom Retrofit	129
4.7.1	Efektifitas Kolom Retrofit C1 dengan Kolom Retrofit C2	129
4.7.2	Efektifitas Kolom Retrofit D1 dengan Kolom Retrofit D2.....	132
BAB V	PENUTUP	133
5.1	Kesimpulan	133
5.2	Saran	134
DAFTAR PUSTAKA	135
LAMPIRAN	137

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Tegangan leleh baja tulangan polos dan ulir	5
Tabel 2. 2. Karakteristik baja tulangan polos	6
Tabel 2. 3. Karakteristik baja tulangan ulir	6
Tabel 2. 4. Kuat tekan bambu petung	12
Tabel 2. 5. Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal	13
Tabel 2. 6. Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia	13
Tabel 3. 1. Penelitian kolom retrofit dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda	25
Tabel 3. 2. Jumlah benda uji	26
Tabel 3. 3. Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit	34
Tabel 3. 4. Form pengumpulan data dari pengujian kuat beban aksial kolom asli dan kolom retrofit	34
Tabel 3. 5. Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm	35
Tabel 3. 6. Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	36
Tabel 3. 7. Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit	36
Tabel 3. 8. Tabel pengolahan data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	36
Tabel 3. 9. Tabel pengolahan data tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit	37
Tabel 3. 10. Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit	37
Tabel 4. 1. Uji Tulangan Baja Ø6 mm	48
Tabel 4. 2. Uji Tulangan Baja D10 mm	48
Tabel 4. 3. Hasil Uji Slump Beton Silinder untuk Benda Uji Kolom Asli	49
Tabel 4. 4. Hasil Uji Slump Beton Silinder untuk Benda Uji Kolom Retrofit	49
Tabel 4. 5. Hasil uji kuat tekan benda uji silinder beton (sampel benda uji kolom asli)	50
Tabel 4. 6. Hasil uji kuat tekan benda uji silinder beton (sampel benda uji kolom retrofit)	50
Tabel 4. 7. Hasil kuat beban aksial kolom asli	52
Tabel 4. 8. Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom asli	53

Tabel 4. 9. Hasil kuat beban aksial kolom retrofit	54
Tabel 4. 10. Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom retrofit	54
Tabel 4. 11. Tabel data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	58
Tabel 4. 12. Tabel data rata –rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	59
Tabel 4. 13. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1	60
Tabel 4. 14. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit A.1	61
Tabel 4. 15. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2	67
Tabel 4. 16. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit C.2	70
Tabel 4. 17. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1	75
Tabel 4. 18. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit D.1	76
Tabel 4. 19. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2	82
Tabel 4. 20. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit D.2	85
Tabel 4. 21. Tabel data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	92
Tabel 4. 22. Tabel data rata –rata tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	92
Tabel 4. 23. Tabel tegangan dan regangan kolom asli C.1	93
Tabel 4. 24. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit C.1	94
Tabel 4. 25. Tabel tegangan dan regangan kolom asli C.2	100
Tabel 4. 26. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit C.2	103
Tabel 4. 27. Tabel tegangan dan regangan kolom asli D.1	108
Tabel 4. 28. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit D.1	109
Tabel 4. 29. Tabel tegangan dan regangan kolom asli D.2	115
Tabel 4. 30. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit D.2	118
Tabel 4. 31. . Tabel daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit	124
Tabel 4. 32. Tabel daktilitas pada kolom C.1 asli dan kolom retrofit dengan penentuan deformasi ultimate pada beban paling akhir	126
Tabel 4. 33. . Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit C.1 dengan kolom retrofit C.2	130
Tabel 4. 34. Tabel perbandingan efektifitas kolom retrofit C.1 dengan kolom retrofit C.2	130

Tabel 4. 35. Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit D.1 dengan kolom retrofit D.2	132
Tabel 4. 36. Tabel perbandingan efektifitas kolom retrofit D.1 dengan kolom retrofit D.2	133



x

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Baja tulangan polos dan ulir	5
Gambar 2. 2. Detail penulangan beton bertulang	7
Gambar 2. 3. Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan longitudinal.....	8
Gambar 2. 4. Variasi tegangan pengekang akibat jumlah dan susunan tulangan.....	9
Gambar 2. 5. Efektifitas pengekangan dari sengkang persegi dan spiral	9
Gambar 2. 6. Jarak antar sengkang mempengaruhi efektifitas pengekangan.....	10
Gambar 2. 7. Efek konfigurasi dan jarak sengkang : (a) Konfigurasi sengkang yang kurang baik dengan jarak yang lebar ; (b) konfigurasi yang baik dengan jarak yang rapat.....	11
Gambar 2. 8. Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja.....	14
Gambar 2. 9. Beberapa Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh	17
Gambar 2. 10. Tampak atas kolom dengan perkuatan concrete jacketing.	19
Gambar 3. 1. Diagram alir tahapan penelitian.....	24
Gambar 3. 2. Benda uji kolom asli	27
Gambar 3. 2. Benda uji kolom asli	27
Gambar 3. 3. Detail benda uji kolom retrofit C1.....	27
Gambar 3. 4. Detail benda uji kolom C2.....	28
Gambar 3. 5. Detail benda uji kolom D1.....	29
Gambar 3. 6. Detai benda uji kolom D2.....	29
Gambar 3. 7. Skema Pengujian Benda Uji Kolom Utama dan Retrofit	32
Gambar 3. 8. Grafik perbandingan kuat tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit	37
Gambar 3. 9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dengan retrofit	38
Gambar 3. 10. Grafik gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit	38
Gambar 3. 11. Grafik tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit	39
Gambar 3. 12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit	39
Gambar 3. 13. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit	40
Gambar 3. 14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit	40

Gambar 3. 15. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit.....	41
Gambar 4. 1. Grafik perbandingan hasil rata-rata uji tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit.....	51
Gambar 4. 2. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C1 dengan kolom retrofit C1	55
Gambar 4. 3. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C2 dengan kolom retrofit C2	56
Gambar 4. 4. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D1 dengan kolom retrofit D1	56
Gambar 4. 5. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D2 dengan kolom retrofit D2	57
Gambar 4. 6. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.1 dengan kolom retrofit C.1.1	64
Gambar 4. 7. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.2 dengan kolom retrofit C.1.2.....	65
Gambar 4. 8. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.3 dengan kolom retrofit C.1.3.....	65
Gambar 4. 9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1 dengan kolom retrofit C.1	66
Gambar 4. 10. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.1 dengan kolom retrofit C.2.1	72
Gambar 4. 11. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.2 dengan kolom retrofit C.2.2.....	73
Gambar 4. 12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.3 dengan kolom retrofit C.2.3.....	73
Gambar 4. 13. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2 dengan kolom retrofit C.2.....	74
Gambar 4. 14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.1 dengan kolom retrofit D.1.1.....	80
Gambar 4. 15. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.2 dengan kolom retrofit D.1.2.....	80

Gambar 4. 16. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.3 dengan kolom retrofit D.1.3	81
Gambar 4. 17. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1	81
Gambar 4. 18. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.1 dengan kolom retrofit D.2.1	89
Gambar 4. 19. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.2 dengan kolom retrofit D.2.2	90
Gambar 4. 20. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.3 dengan kolom retrofit D.2.3	90
Gambar 4. 21. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2	98
Gambar 4. 22. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.1 dengan kolom retrofit C.1.1	98
Gambar 4. 23. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.2 dengan kolom retrofit C.1.2	99
Gambar 4. 24. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.3 dengan kolom retrofit C.1.3	99
Gambar 4. 25. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1	99
Gambar 4. 26. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.1 dengan kolom retrofit C.2.1	106
Gambar 4. 27. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.2 dengan kolom retrofit C.2.2	106
Gambar 4. 28. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.3 dengan kolom retrofit C.2.3	107
Gambar 4. 29. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2 dengan kolom retrofit C.2	107
Gambar 4. 30. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.1 dengan kolom retrofit D.1.1	113
Gambar 4. 31. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.2 dengan kolom retrofit D.1.2	113
Gambar 4. 32. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.3 dengan kolom retrofit D.1.3	114

Gambar 4. 33 . Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1	114
Gambar 4. 34. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.1 dengan kolom retrofit D.2.1.....	121
Gambar 4. 35. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.2 dengan kolom retrofit D.2.2.....	122
Gambar 4. 36. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.3 dengan kolom retrofit D.2.3.....	122
Gambar 4. 37. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2.....	123
Gambar 4. 38. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1	125
Gambar 4. 39. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1 dengan penentuan deformasi ultimate pada beban paling akhir.	126
Gambar 4. 39. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1 dengan penentuan deformasi ultimate pada beban paling akhir.	126
Gambar 4. 40. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.2 dengan kolom retrofit C.2	127
Gambar 4. 41. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1	128
Gambar 4. 42. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2	129
Gambar 4. 43. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit C.1-C.2	131
Gambar 4. 44. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom kolom retrofit C.1-C.2.....	131
Gambar 4. 45. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit D.1-D.2.....	133
Gambar 4. 46. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit D.1-D.2	134

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran I.	PEMERIKSAAN DAN ANALISIS BAHAN CAMPURAN	
BETON	139
Lampiran II.	PERHITUNGAN CAMPURAN DAN PENENTUAN KEBUTUHAN	
BAHAN	151
Lampiran III.	DATA HASIL UJI TARIK TULANGAN	165
Lampiran IV	DOKUMENTASI PENELITIAN	173



- Halaman ini sengaja dikosongkan -



RINGKASAN

Nur Rachman, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Kekangan Jarak Sengkang pada Perilaku Aksial Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat Menggunakan Metode Jaket Beton Bertulang Bambu*, Dosen Pembimbing : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.).

Kolom adalah bagian dari struktur bangunan yang sangat penting. Dimana apabila ada kerusakan dari kolom maka akan terjadi kehancuran dari sebuah struktur bangunan tersebut, hal ini berbeda dengan balok. Sehingga kolom perlu diperhatikan apabila mengalami kerusakan. Hal ini bisa terjadi karena kesalahan perhitungan dan desain, beban yang berlebihan dari rencana (*overloading*), dan gempa bumi. Semakin berkembangnya teknologi dunia konstruksi di Indonesia mengakibatkan timbulnya sebuah inovasi untuk memperbaiki kerusakan dari kolom yang terjadi berupa retrofit, salah satu metodenya adalah jaket beton.

Pada penelitian ini kolom asli memiliki ukuran 12x12x30 cm dengan tulangan utama dan sengkang dari tulangan baja, sedangkan kolom retrofit memiliki ukuran 18x18x30 cm dengan tulangan utama bambu petung dan sengkang bambu apus. Untuk kode kolom digunakan C.1 – C.2 dan D.1 – D.2. Yaitu, kolom retrofit kode C.1 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 5 cm, dibandingkan dengan kolom retrofit kode C.2 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 7.5 cm. Sedangkan kolom retrofit dengan kode D.1 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 5 cm, dibandingkan dengan kolom retrofit kode D.2 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 7.5 cm. Sehingga hasil akhir dari penelitian ini adalah efektifitas pengekangan kolom retrofit. Pengujian kolom dilakukan dengan mesin uji tekan untuk memperoleh nilai gaya tekan dan *dial gauge* untuk memperoleh nilai defleksi.

Hasil penelitian antara variasi C.1 dan C.2 menunjukkan bahwa jenis kolom C.1 dengan variasi jarak sengkang 5 cm memiliki nilai gaya tekan maksimum yang sedikit lebih kecil sebesar 5.4 % jika dibandingkan dengan kolom C.2. Namun kolom C.1 memiliki nilai daktilitas yang jauh lebih efektif dibandingkan dengan kolom C.2, dimana kolom C.1 memiliki nilai peningkatan daktilitas lebih besar 214.6 % dibandingkan kolom C.2. Oleh karena itu kolom C.1 lebih efektif daripada C.2. Sedangkan penelitian antara variasi D.1 dan D.2 menunjukkan bahwa jenis kolom D.1 dengan variasi jarak sengkang 5 cm memiliki nilai gaya tekan maksimum yang sedikit lebih besar sebesar 11.8 % jika dibandingkan dengan kolom D.2. Namun kolom D.1 memiliki nilai daktilitas yang tidak lebih efektif dibandingkan dengan kolom D.2, dimana kolom D.1 memiliki nilai peningkatan daktilitas lebih kecil 33.8 % dibandingkan kolom D.2. Oleh karena itu kolom D.2 lebih efektif daripada D.1. Hal ini bisa terjadi karena adanya rongga-rongga pada kolom retrofit D.1, karena kolom retrofit D.1 yang memiliki variasi jarak sengkang yang lebih rapat (5 cm) sehingga pada saat pengecoran, agregat tidak seluruhnya mengisi bagian kolom retrofit yang dikarenakan jarak sengkang yang lebih rapat dibandingkan dengan ruang yang akan dicor. Hal ini bisa mengakibatkan kolom retrofit D.1 tidak bisa berdeformasi sebesar kolom retrofit D.2 atau lebih cepat mencapai titik runtuh, dimana akan mempengaruhi pada kedaktilaian kolom.

Kata Kunci : Jaket beton, efektivitas, gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, daktilitas.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



SUMMARY

Nur Rachman, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Juni 2018, *Confinement Effect of Strirrups Spacing on Axial Behavior of RC Column Retroffited Using Bamboo Reinforced Concrete Jacket Method*. Academic Supervisor : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.).

Column is the important part of building structure. If there any defect of column, the collapse of the building structure will happen, and this is makes column different with beam. Therefore, column need to be more concerned when it's begin defect. The defect of column caused by errors when doing calculate and design of the structure, overloading, and earthquake. Nowadays, the develop of the construction technology in Indonesia is getting advanced, its makes an innovation to repair the defect of the column with retrofitted, and concrete jacketing is the one of method.

In this research, the main column size is 12 x 12 x 30 cm with the main reinforced bar and stirrups are from steel materials. The retrofitted column has size 18 x 18 x 30 cm with the main reinforced from petung bamboo and the stirrups from apus bamboo. The sample of column in this research using code C.1 – C.2 and D.1 – D.2. C.1 is the retrofitted column that use 4 bamboo longitudinal reinforced size 10 x 20 mm and the space of each transversal reinforced is 5 cm, it is will be compared to retrofitted column C.2 which use 4 bamboo longitudinal reinforced and the space of each transversal reinforced is 7,5 cm. D.1 is retrofitted column that use 8 bamboo longitudinal reinforced sized 10 x 10 mm and the space of each transversal reinforced 5 cm, it will be compared to retrofitted column D.2 which use 8 bamboo longitudinal reinforced sized 10 x 10 m and with the space of each transversal reinforced is 7,5 cm. The result of this research is the effectivity of stirrups confinement of retrofitted column. The column will be tested with compression test machine to gain compressive force and dial gauge that needed to get deflection value.

The result of variation between C.1 and C.2 has showed that column C.1 with the variation space of each stirrups is 5 cm has the maximum compression force that little bit lower 5,4% if it compared to C.2. But, C.1 has more effective ductility if its compared to C.2, C.1 has raised of ductility that bigger 214.6 % than C.2. So there is column C.1 more effective than C.2. And the result of variation between D.1 and D.2 has showed that column D.1 with the variation space of each stirrups is 5 cm has the maximum compression force that little bit higher 11.8 % if it compared to D.2. But, D.1 has no more effective ductility if its compared to D.2, D.1 has raised of ductility that lower 33.8 % than C.2. So there is column D.1 more effective than D.2. It could be happened because the voids of retrofitted column D.1. Retrofitted column s D.1 has variation stirrups space densely (5cm) so when its casting not all of the agregat fulfilled the retrofitted column because the space of stirrups is more dense than the space that will be casted. It is caused the retrofitted column D.2 coul'n't deform as large as D.2 or sooner to reach the collapse point, that will be affected to ductility of column.

Keywords : concrete jacketing, effectivity, compression force, stiffness, modulus of elasticity, ductility.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Kuat Beban Aksial	Kilonewton atau kN	P
Luas Penampang Bruto	Milimeter kuadrat atau mm ²	A _g
Luas Penampang tulangan	Milimeter kuadrat atau mm ²	A _s
Kuat Tekan Beton	Megapascal atau MPa	f' _c
Tegangan Leleh	Megapascal atau MPa	f _y
Luas Penampang Bambu	Milimeter kuadrat atau mm ²	A _{bambu}
Kuat Tekan Bambu	Megapascal atau MPa	f _{tk bambu}
Modulus Elastisitas	Kilonewton per millimeter kuadrat atau kN/mm ²	E
Kekakuan	Kilonewton per millimeter atau kN/mm	k
Tegangan	Kilonewton per millimeter kuadrat atau kN/mm ²	σ
Luas Penampang	Milimeter kuadrat atau mm ²	A
Perubahan Panjang	Milimeter atau mm	ΔL
Regangan	-	ε
Gaya Tekan	Kilonewton atau kN	P
Defleksi	Milimeter atau mm	Δ
Daktilitas	-	μΔ
Deformasi <i>Ultimate</i>	Milimeter atau mm	Δ _u
Deformasi Leleh	Milimeter atau mm	Δ _y

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kolom adalah bagian dari struktur bangunan yang sangat penting. Dimana apabila ada kerusakan dari kolom maka akan terjadi kehancuran dari sebuah struktur bangunan tersebut, hal ini berbeda dengan balok. Sehingga kolom perlu diperhatikan apabila mengalami kerusakan. Hal ini bisa terjadi karena kesalahan perhitungan dan desain, beban yang berlebihan dari rencana (*overloading*), dan gempa bumi.

Semakin berkembangnya teknologi dunia konstruksi di Indonesia mengakibatkan timbulnya sebuah inovasi untuk memperbaiki kerusakan dari kolom yang terjadi berupa retrofit. Untuk metode dari retrofit itu sendiri terdiri dari *concrete jacketing*, *steel bonding plat*, dan *carbon fibre reinforced polimer*. Dari metode yang ada ini diharapkan agar perbaikan pada kerusakan kolom yang terjadi bisa diperbaiki, bahkan untuk meningkatkan kekuatan dari kolom tersebut.

Dalam penelitian ini, metode perbaikan kolom yang digunakan yaitu *concrete jacketing*. Hal ini dikarenakan metode ini lebih mudah dilakukan, dan lebih hemat dari segi biaya maupun waktu. Selain itu dengan menggunakan metode ini tidak perlu dibuat kolom baru lagi, yaitu dengan cara menyelimuti kolom yang sudah ada dengan beton tambahan dan tulangan.

Pada konstruksi beton bertulang terutama kolom, tulangan geser atau sengkang sangat berpengaruh pada kekuatan dari kolom. Pemasangan sengkang berpengaruh pada efektivitas kekangan pada kolom, semakin rapat sengkang dipasang maka efektivitas dari kekangan akan semakin meningkat sehingga akan berpengaruh pada kekuatan dari kolom tersebut.

Dalam penelitian ini, akan difokuskan terhadap pengaruh variasi jarak sengkang dan konfigurasi tulangan utama pada penggunaan retrofit dengan metode *concrete jacketing*. Dimana akan digunakan bambu petung sebagai tulangan utama, dan bambu apus sebagai sengkang atau tulangan geser. Pada penelitian ini juga diharapkan agar berpacu pada konsep *green construction* sehingga digunakan tulangan bambu sebagai tulangan utama dan sengkang pada retrofit yang digunakan.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini antara lain untuk mengetahui hubungan tegangan regangan pada kolom pendek, gaya tekan aksial maksimum, dan daktilitas dari kolom retrofit dengan metode *concrete jacketing*. Variasi yang digunakan untuk mengetahui beberapa hal tersebut pada penelitian ini adalah penggunaan jarak sengkang bambu kolom retrofit.

1.3 Rumusan Masalah

Dari penjelasan di atas rumusan masalah dari penelitian kali ini, antara lain :

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak sengkang bambu pada kolom retrofit terhadap gaya tekan maksimum?
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak sengkang bambu pada kolom retrofit terhadap nilai modulus elastisitas, kekakuan, dan daktilitas?
3. Bagaimana efektifitas variasi jarak sengkang yang baik digunakan pada kolom retrofit?

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini nantinya tidak terlalu melebar dalam pelaksanaannya, maka dibuat beberapa batasan masalah dari penelitian ini. Antara lain :

1. Mutu beton dari kolom asli yang dibuat adalah sebesar 15 MPa.
2. Mutu beton dari kolom retrofit yang dibuat adalah sebesar 15 MPa.
3. Kolom utama mempunyai dimensi penampang 12 X 12 cm dengan tinggi 30 cm
4. Kolom retrofit mempunyai dimensi penampang 18 X 18 dengan tinggi 30 cm.
5. Tulangan utama dan sengkang yang digunakan pada kolom utama adalah tulangan baja.
6. Tulangan utama dan sengkang yang digunakan pada kolom retrofit adalah tulangan bambu.
7. Jenis bambu yang digunakan sebagai tulangan utama pada kolom retrofit adalah bambu petung.
8. Jenis bambu yang digunakan sebagai sengkang pada kolom retrofit adalah bambu apus.
9. Pada kolom utama digunakan tulangan baja D10 berjumlah 4 buah, dan sengkang Ø6 berjumlah 3 buah dengan jarak masing-masing 15 cm antar sengkang.

10. Variasi tulangan utama pada kolom retrofit terdapat dua jenis, yaitu tulangan bambu berjumlah 4 buah dengan ukuran penampang 1 X 2 cm, dan tulangan bambu berjumlah 8 buah dengan ukuran penampang 1 X 1 cm. Dimana keduanya memiliki rasio tulangan yang sama yaitu 2.47.
11. Variasi sengkang pada kolom retrofit terdapat dua jenis, yaitu tulangan bambu dengan jarak antar sengkang 5 cm dan 7.5 cm.
12. Ukuran penampang tulangan geser pada kolom retrofit yang digunakan adalah 0.5 X 0.5 cm.
13. Variasi yang akan dibandingkan pada penelitian ini adalah jumlah tulangan utama dan jarak sengkang.
14. Karakteristik pengujian kolom retrofit pada penelitian ini adalah uji kuat tekan kolom.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi jarak sengkang bambu pada kolom retrofit terhadap gaya tekan maksimum.
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi jarak sengkang bambu pada kolom retrofit terhadap nilai modulus elastisitas, kekakuan, dan daktilitas.
3. Untuk menganalisis efektifitas variasi jarak sengkang baik yang digunakan pada kolom retrofit.

1.6 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi penulis :
 - Mengetahui karakteristik dari masing-masing jarak sengkang dalam penggunaan kolom retrofit.
 - Mendukung penerapan *Green Construction* dengan penggunaan tulangan utama dan sengkang dari bambu.
2. Bagi pembaca :
 - Dapat digunakan sebagai referensi dalam pembuatan kolom retrofit dengan metode *concrete jacketing* dengan jarak sengkang bambu yang paling efektif.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

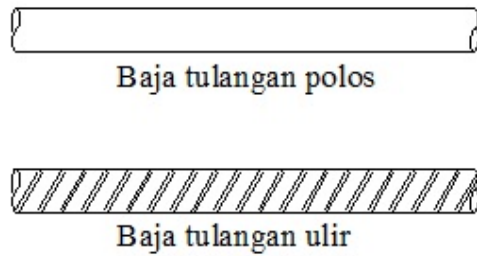
Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperature, dan kondisi perawatan pengerasannya. (Dipohusodo, Istimawan, 1993)

Pada beton biasanya terdapat tulangan yang berfungsi sebagai penahan gaya tarik yang bekerja pada beton. Beton yang kuat terhadap gaya tekan dan lemah terhadap tarik, maka diperlukan tulangan untuk menahan gaya tarik yang disebabkan beban - beban yang bekerja (Nawy, Edward G, 2008).

Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan, dengan atau tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama – sama dalam menahan gaya yang bekerja (Mulyono, 2004). Dimana pada penggunaannya peraturan dalam perencanaan beton bertulang sering mengalami perubahan, mulai dari PBI 1955, PBI 1971, sampai dengan SNI terbaru tahun 2013.

2.2 Tulangan Baja

Penempatan *rebar* atau baja tulangan di dalam suatu penampang beton terutama untuk menahan gaya tarik yang bekerja pada penampang tersebut (Wahyudi, Laurentius, 1999). Pada penggunaannya tulangan baja terdapat dua jenis, yaitu tulangan polos (*plain bar*) dan tulangan ulir (*deform bar*). Umumnya di Indonesia baja tulangan polos terbuat dari baja lunak, sedangkan untuk baja tulangan ulir terbuat dari baja keras.



Gambar 2.1. Baja tulangan polos dan ulir

Dalam SNI digunakan simbol BJTP untuk baja tulangan polos dan BJTD untuk baja tulangan ulir. Di pasaran untuk baja tulangan polos tersedia mulai dari mutu BJTP-24 sampai BJTP-30, sedangkan untuk baja tulangan ulir umumnya dari BJTD-30 sampai dengan BJTD-40. Angka yang ada pada simbol baja tulangan tersebut menyatakan tegangan leleh dari material tersebut. Sebagai contoh untuk BJTD-30 berarti baja tulangan ulir tersebut memiliki tegangan leleh 30 kN/cm^2 .

Tabel 2.1 Tegangan leleh baja tulangan polos dan ulir

Simbol Mutu	Persyaratan Tarik		
	Tegangan Leleh	Kekuatan Tarik	Perpanjangan
	Minimum (kN/cm^2)	Minimum (kN/cm^2)	Minimum (%)
BJTP-24	24	39	18
BJTP-30	30	49	14
BJTD-30	30	49	14
BJTD-35	35	50	18
BJTD-40	40	57	16

Berikut ini beberapa perbedaan dari baja tulangan polos dan baja tulangan ulir dari karakteristiknya :

- Tulangan Polos

Baja tulangan polos tersedia dalam beberapa ukuran diameter, namun karena ada peraturan dalam SNI yang mengatur penggunaannya hanya untuk sengkang dan tulangan spiral sehingga pemakainnya dibatasi. Untuk saat ini, tulangan polos yang

mudah dijumpai adalah sampai dengan diameter 16 mm, dengan panjang yang sesuai standart yaitu 12 m.

Tabel 2.2. Karakteristik baja tulangan polos

Diameter (mm)	Berat (kg/m)	Keliling (cm)	Luas Penampang (cm ²)
6	0.222	1.88	0.283
8	0.395	2.51	0.503
10	0.617	3.14	0.785
12	0.888	3.77	1.13
16	1.58	5.02	2.01

- Tulangan Ulir

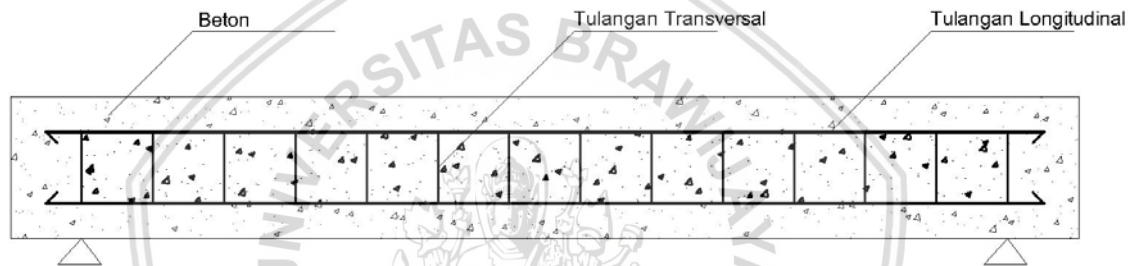
Sesuai dengan SNI, untuk simbol diameter dari tulangan ulir digunakan huruf D. Sebagai contoh D-10 menunjukkan tulangan ulir berdiameter 10 mm. Berbeda dengan tulangan polos, tulangan ulir tersedia dari diameter 10 mm hingga 32 mm, meskipun ada juga diameter yang lebih besar dari itu, namun diperlukan pemesanan terlebih dahulu. Baja tulangan ulir lebih digunakan sebagai batang tulangan beton struktur atau tulangan utama dari struktur beton bertulang. Hal ini dikarenakan dari ulir yang ada pada baja tulangan akan mengakibatkan lekatan baja tulangan dengan beton lebih maksimal.

Tabel 2.3. Karakteristik baja tulangan ulir

Diameter (mm)	Berat (kg/m)	Keliling (cm)	Luas Penampang (cm ²)
10	0.617	3.14	0.785
13	1.04	4.08	1.33
16	1.58	5.02	2.01
19	2.23	5.96	2.84
22	2.98	6.91	3.80
25	3.85	7.85	4.91
32	6.31	10.05	8.04
36	7.99	11.30	10.20
40	9.87	12.56	12.60

2.2.1 Tulangan longitudinal

Tulangan longitudinal adalah tulangan baja yang dipasang searah dengan serat batang. Tulangan longitudinal biasa disebut sebagai tulangan utama. Fungsi utama dari tulangan longitudinal ini adalah menahan gaya tarik. Sehingga pemakaian dari tulangan tarik ini digunakan pada serat atau bagian beton yang mengalami gaya tarik. Kondisi ini biasa terjadi pada bagian yang mengalami momen lentur yang besar, sehingga menimbulkan terjadinya retakan pada beton. Namun pada penggunaannya tulangan longitudinal tidak hanya dipasang pada daerah tarik, tetapi juga pada daerah tekan. Hal ini dikarenakan untukantisipasi gaya gempa yang bisa merubah momen dan letak serat tarik, dan juga sebagai media pengikat tulangan geser atau sengkang.



Gambar 2.2. Detail penulangan beton bertulang

2.2.2 Tulangan Transversal (Sengkang)

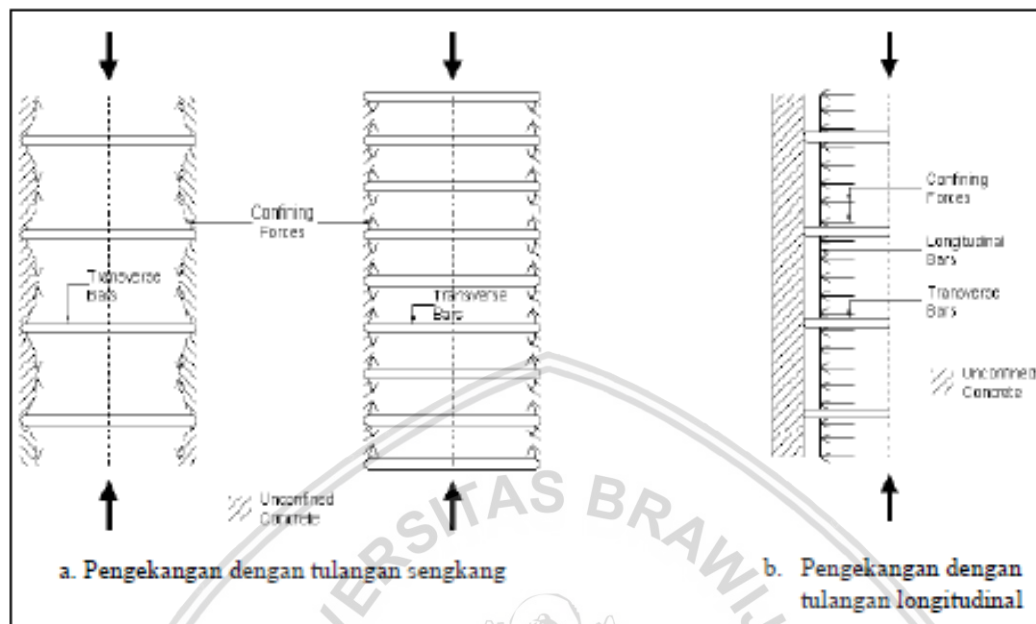
Tulangan transversal atau yang biasa disebut dengan sengkang adalah tulangan yang digunakan pada beton bertulang untuk mengantisipasi adanya gaya geser yang terjadi. Tulangan transversal yang nantinya akan diikat bersama dengan tulangan longitudinal yang berfungsi untuk mencegah tekuk, dan menjadi pengekan pada beton.

Terdapat beberapa fungsi dari sengkang, antara lain:

1. Sengkang sebagai penahan gaya geser
2. Sengkang sebagai pengikat tulangan pokok
3. Sengkang sebagai pengekan (*confinement*)
4. Sengkang sebagai penahan tekuk (*buckling*)

Pada kolom penggunaan dari tulangan transversal atau sengkang ini sangat berpengaruh pada kekuatan kolom. Semakin pendek jarak antar sengkang pada kolom maka

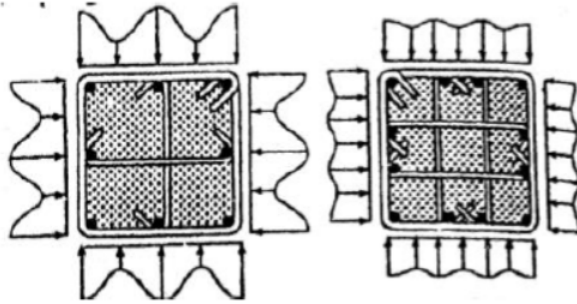
akan semakin kuat. Hal ini dikarenakan fungsi sengkang sebagai pengekan akan berfungsi lebih maksimal.



Gambar 2.3. Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan longitudinal

Selain hal diatas ada banyak variabel yang mempengaruhi kapasitas aksial dari kolom dan perilaku hubungan tegangan regangan yang terjadi. Antara lain :

- A Rasio volume sengkang dan beton. Merupakan perbandingan volume antara sengkang dengan inti beton yang dihitung dari as ke as beton yang terkekang. Semakin kecil rasio volume sengkang dan beton maka akan semakin besar efektivitas kekangan. Untuk memperoleh hal ini bisa dilakukan dengan cara:
 - (1) Memperbanyak volume sengkang, sehingga dapat meningkatkan tegangan dari tulangan arah transversal.



Gambar 2.4. Variasi tegangan pengekan akibat jumlah dan susunan tulangan

Sumber : Tavo (2011)

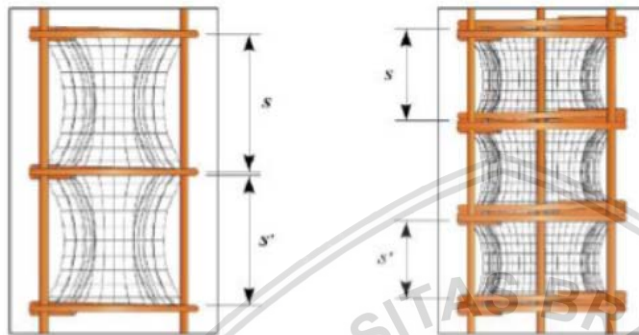
- (2) Memperbesar diameter sengkang, karena dengan hal ini tegangan yang dimiliki oleh sengkang itu sendiri menjadi lebih besar dan efektif.



Gambar 2.5. Efektifitas pengekan dari sengkang persegi dan spiral

Dapat dilihat dari gambar 2. Daerah yang diarsir adalah daerah yang tidak efektif terkekang. Bila digunakan sengkang dengan diameter kecil, maka sengkang tersebut hanya berfungsi sebagai pengikat antar sudut. Karena kekakuannya kecil, maka bagian tengah sengkang akan menjadi lebih kecil juga sehingga daerah efektif pun menjadi lebih kecil. Sedangkan dengan sengkang diameter yang lebih besar, maka luas area yang terkekang efektif bisa bertambah besar. Dari gambar 2. Itu juga dapat dilihat bahwa sengkang spiral memiliki efektifitas yang lebih baik daripada sengkang persegi, dengan mampu menahan inti beton dengan lebih baik.

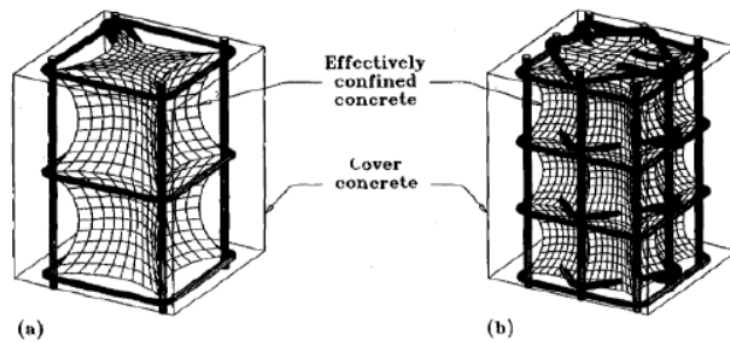
- (3) Memperkecil jarak sengkang, yaitu perbandingan antar jarak bersih antar sengkang dengan dimensi penampang inti. Hal ini dinilai mampu menambah efektivitas kekangan dari sengkang, dimana semakin kecil jarak sengkang maka akan semakin besar efektivitas kekangan dari sengkang tersebut. Begitu pula sebaliknya.



Gambar 2.6. Jarak antar sengkang mempengaruhi efektifitas pengekanan

Sumber : Cusson dan Paultre (1995)

- B Tegangan leleh dari baja tulangan sengkang, karena variabel ini menentukan berapa kapasitas tegangan ultimate yang dimiliki oleh tulangan sengkang tersebut.
- C Ukuran dan jumlah dari tulangan longitudinal, karena tulangan ini juga berfungsi sebagai pengekan beton. Apabila tulangan longitudinal diletakkan lebih rapat disepanjang sengkang, maka akan meningkatkan efisiensi pengekanan karena sengkanglah yang memberikan reaksi pengekanan pada tulangan longitudinal.



Gambar 2.7. Efek konfigurasi dan jarak sengkang : (a) Konfigurasi sengkang yang kurang baik dengan jarak yang lebar ; (b) konfigurasi yang baik dengan jarak yang rapat

Sumber : Cusson (1995)

- D Mutu beton, untuk beton yang memiliki mutu yang rendah (*low strength concrete*) akan memiliki sifat yang lebih daktail dari pada beton yang memiliki mutu tinggi (*high strength concrete*).

2.3 Bambu

Bambu adalah tanaman yang mudah untuk ditanam dan tumbuh dengan alami, sehingga di Indonesia masih mudah dijumpai tanaman bambu. Terdapat ratusan macam jenis bambu, tetapi dari ratusan jenis itu, hanya ada empat macam saja yang dianggap penting sebagai jenis bambu yang dapat dimanfaatkan dan umum dipasarkan di Indonesia, yakni bambu jenis petung, bambu jenis wulung, bambu jenis tali dan bambu jenis duri (Frick, 2004).

Bambu dipilih sebagai tulangan alternatif sebagai pengganti tulangan baja karena merupakan produk hasil alam yang renewable, murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, dapat mereduksi efek global warming serta memiliki kuat tarik sangat tinggi yang dapat dipersaingkan dengan baja (Setiya Budi, 2010).

2.3.1 Bambu Petung

Bambu petung (*Dendrocalamus sp*) berbagai daerah di Indonesia dikenal dengan nama tiying petung, buluh petung, pring petung, awi petung, buluh swanggi, jajang petung, au petung, bulo lotung dan lainnya (Morisco, 1999:2-4). Bambu petung memiliki ciri-ciri warna kulit hijau kekuning kuningan. Bambu petung memiliki panjang batang antara 10

sampai 14 meter, dengan panjang ruas antara 40 sampai 60 centimeter, diameter antara 6 sampai 15 centimeter, dan tebal dinding antara 10 sampai 20 milimeter.

2.3.2 Bambu Apus

Bambu apus biasa dikenal sebagai bamboo tali, atau pring tali. Bambu apus kuat terhadap tarik, terutama pada kulit bambu yang berfungsi sebagai pelindung dan bagian terkuat dari bambu. Selain itu bambu ini mudah dilenturkan daripada jenis bambu yang lain, selain itu juga bambu ini memiliki sifat tahan lama atau tidak mudah lapuk, dan juga mudah didapatkan. Sehingga bambu apus dinilai pantas digunakan dalam dunia konstruksi.

2.3.3 Kuat Tekan Bambu

Kekuatan tekan merupakan kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian-bagian bambu secara bersama-sama (Pathurahman, 1998) .

Berdasarkan penelitian Sidik Mustafa (2010) diketahui kuat tekan bambu petung seperti pada Tabel 2.4 berikut ini :

Tabel 2.4. Kuat tekan bambu petung

Sifat Mekanika	Umur	Rata-rata (Mpa)
Kuat Tekan	Muda	37.52
	Dewasa	46.59
	Tua	43.13

Sumber : Sidik Mustafa (2010)

2.3.4 Kuat Tarik Bambu

Bambu memiliki kuat tarik yang cukup tinggi, sehingga dapat dijadikan alternatif pengganti tulangan baja dalam beton bertulang. Menurut Jansen (1980) faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah sebagai berikut :

1. Kandungan air, semakin sedikit kandungan air yang terdapat pada bambu maka kuat tarik bambu semakin kuat.
2. Ada tidaknya nodia pada bambu. Pada batang bambu yang bernodia atau beruas maka bambu itu mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan bambu yang tidak terdapat nodia atau ruas.

Kuat tarik sejajar serat bambu hasil penelitian yang dilakukan oleh Morisco (1999) menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 2000 – 3000 kg/cm². Sementara itu kuat batas dan tegangan ijin bambu sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.5 berikut ini:

Tabel 2.5. Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal

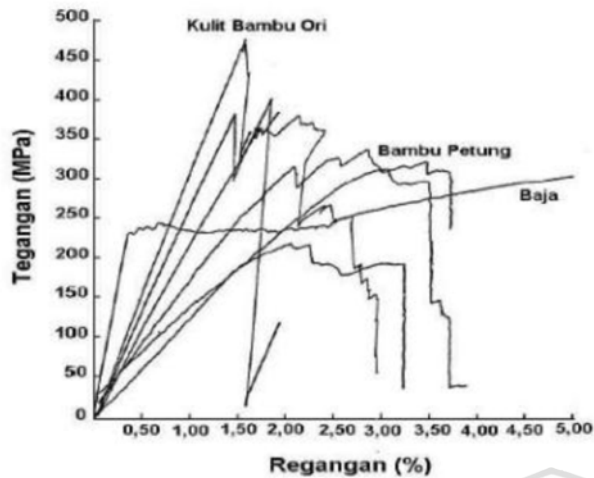
Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)
Tarik	981 - 3920	294.2
Lentur	686 - 2940	98.07
Tekan	245 - 981	78.45
E Tarik	98070 - 294200	196.1 x 10 ³

Sumber: Morisco (1999)

Morisco (1999) juga telah melakukan pengujian kuat tarik dengan empat jenis yaitu bambu ori (*bambusa bambos becke*), bambu Petung (*dendracalamus asper schult*), bambu wulung (*gigantochloa vercillata munro*) dan bambu tutul (*bambusa vulgaris schrad*), dimana di dalam pengujian ini bambu yang digunakan adalah bambu dengan nodia dan juga tanpa nodia. Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.6 berikut ini:

Tabel 2.6. Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia

Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74
Apus	151	55



Gambar 2.8. Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja

Sumber : Morisco (1999)

Dari Gambar 2.8 Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja, dapat disimpulkan bahwa bambu ori memiliki kekuatan yang cukup tinggi yaitu hampir dua kali kekuatan tegangan leleh baja. Selain bambu ori, tegangan leleh dari bambu petung juga lebih besar dari tegangan leleh baja.

2.3.5 Perlakuan Bambu sebagai Tulangan

Penelitian akan bambu sebagai pengganti penggunaan tulangan baja pada beton bertulang sudah dilakukan sejak tahun 1979 di Brazil dan Puerto Rico. Bambu memiliki sifat yang mudah mengembang ketika menyerap air, dan bambu akan menyusut dengan tingkat yang lebih besar dari beton ketika beton mengalami proses pengerasan. Sehingga diperlukan perlakuan khusus terhadap bambu yang akan digunakan sebagai tulangan pada beton bertulang. Antara lain berupa pemberian lapisan kedap air untuk mencegah penyerapan air pada bambu, dan juga bambu harus dilumuri pasir untuk memberikan permukaan yang kasar dari bambu dan meningkatkan daya lekat bambu terhadap beton.

2.4 Kolom

Kolom-kolom di dalam sebuah konstruksi meneruskan beban-beban dari balok-balok dan pelat-pelat ke bawah sampai ke pondasi-pondasi, dan karenanya kolom-kolom terutama merupakan bagian-bagian konstruksi tekan, meskipun mereka mungkin harus pula menahan gaya-gaya lentur akibat kontinuitas dari konstruksi (Mosley, Bungey, 1984).

Pada perencanaan kolom terutama harus didasarkan pada kekuatan dan kekakuan penampang melintangnya terhadap gaya tekan aksial dan momen lentur. Sehingga kolom

harus mampu menahan beban kombinasi dari gaya tekan aksial dan momen lentur tersebut. Dengan adanya momen lentur dan gaya aksial yang terjadi secara bersama-sama maka pada kolom pasti akan timbul sebuah eksentrisitas $e = M/P$, jadi eksentrisitas pada kolom harus benar diperhitungkan. Tetapi apabila kolom tersebut hanya memperoleh beban aksial murni maka bisa disebut sebagai kolom sentris, karena tidak mengalami eksentrisitas, walaupun pada kenyataannya sulit dijumpai.

Berdasarkan pada kelangsingannya kolom dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Kolom pendek
2. Kolom langsing

Untuk memeriksa apakah kolom tersebut tergolong kolom pendek atau langsing dapat dihitung berdasarkan rumus yang sesuai dengan sistem portal dari kolom tersebut, termasuk dalam portal tidak bergoyang (*unbraced*) atau bergoyang (*braced*). Rumusnya sebagai berikut :

1. *Unbraced*

Kolom pendek : $\frac{k \cdot l_n}{r} \leq 22$

Kolom langsing : $\frac{k \cdot l_n}{r} > 22$

2. *Braced*

Kolom pendek : $\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2}$

Kolom langsing : $\frac{k \cdot l_u}{r} > 34 - 12 \frac{M_1}{M_2}$

Dimana :

k : faktor panjang efektif

l_n : panjang bersih kolom

r : jari-jari girasi penampang kolom

M_1 : momen ujung yang lebih kecil

M_2 : momen ujung yang lebih besar

2.4.1 Kolom Pendek dengan Beban Aksial Murni

Kolom pendek biasanya mengalami kegagalan yang disebabkan oleh pecahnya beton. Tegangan yang terjadi pada kolom pendek ini merata diseluruh penampang kolom, akibat dari beban aksial yang bekerja tersebut. Begitu pula regangan yang terjadi pada beton dianggap sama dengan regangan yang terjadi pada baja ($\epsilon_c = \epsilon_s$). Pada saat beton mencapai regangan 0.002 sampai 0.003 in/in maka beton akan mencapai kekuatan maksimum f'_c .

Dengan demikian kapasitas beton yang menerima beban aksial murni dapat diperoleh dengan menjumlahkan kapasitas beton dan kontribusi baja. Namun dalam perhitungan kekuatan beton maksimum disini adalah $0.85 f'_c$ bukan f'_c . Hal ini kekuatan maksimum beton yang mampu dihasilkan adalah mendekati $0.85 f'_c$. Sehingga dapat dirumsukan untuk kapasitas kolom pada beban sentris/aksial murni adalah :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \dots \dots \dots (2-1)$$

Untuk analisis batang beton bertulang bambu dengan beban axial tekan murni (Sri Murni Dewi, 2013) adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}}) \dots \dots \dots (2-2)$$

Untuk analisis kuat beban aksial kolom retrofit bertulang bambu dapat diperoleh persamaan :

$$P_{n(max)} = 50\% [0.85 f'_c (A_{gkolom\ asli} - A_{st}) + f_y A_{st}] + [0.85 f'_c (A_{gkolom\ retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})] \dots \dots \dots (2-3)$$

Dimana :

P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

A_g = luas penampang bruto beton (mm²)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_y = tegangan leleh dari tulangan longitudinal (MPa)

A_{bambu} = luas penampang bambu (mm²)

$f_{tk\ bambu}$ = kuat tekan bambu (MPa)

Pada rumus kolom retrofit kenapa digunakan rumus 50% kuat beban aksial kolom asli dikarenakan pada saat pengujian tekan kuat beban aksial dihentikan pada saat kolom asli mengalami penurunan kuat beban sebesar 50% dari kuat beban puncak turun kolom asli.

2.5 Karakteristik Beton Bertulang

2.5.1 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau yang biasa disebut dengan modulus young merupakan nilai yang digunakan untuk menunjukkan kekakuan suatu benda. Semakin kecil nilai modulus elastisitas suatu benda, maka semakin mudah benda tersebut menjadi elastis sehingga benda tersebut mampu mengalami perpanjangan atau perpendekan dengan mudah dan kembali ke bentuk semula. Sebaliknya, semakin besar nilai modulus elastisitas suatu benda, maka benda tersebut cenderung menjadi kaku untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan.

Rumus modulus elastisitas :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (2-4)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)

σ = Tegangan (kN/mm²)

ε = Regangan

2.5.2 Kekakuan

Kekakuan adalah gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan (Genre & Timoshenko, 1996)

Rumus kekakuan :

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots \dots \dots (2-5)$$

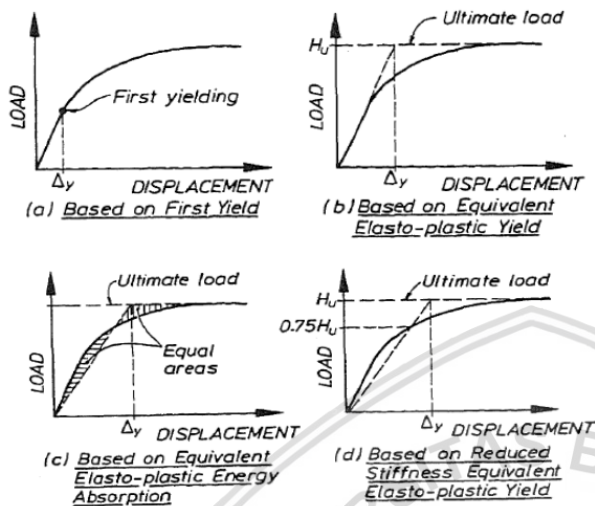
Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)

Menurut Park (1988) lendutan pada titik leleh dapat diambil dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate*.



Gambar 2.9. Beberapa Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh

Sumber : Park (1988)

2.5.3 Daktilitas

Daktilitas atau nama lainnya dari keliatan adalah sifat dari suatu bahan yang memungkinkan bisa dibentuk secara permanen melalui perubahan bentuk yang besar tanpa kerusakan. Keliatan diperlukan pada batang atau bagian yang mungkin mengalami beban yang besar secara tiba-tiba, karena perubahan bentuk yang berlebihan akan memberikan tanda-tanda ancaman kerusakan (Anonim,2010). Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk mencari daktilitas dari suatu bahan :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \dots \dots \dots ($$

2-6)

Dimana :

μ_{Δ} = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

Δy = Deformasi leleh (mm)

2.5.4 Tegangan – Regangan

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya (P) per satuan luas penampang (A) dari suatu benda . Rumus untuk mencari tegangan pada beton bertulang yakni :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana :

P = gaya tekan (kN)

A = luas tampang melintang (mm²)

Sedangkan regangan yaitu perubahan ukuran dari panjang awal yang dihasilkan dari gaya tarik maupun gaya tekan yang terjadi pada suatu bahan. Rumus untuk mencari regangan yaitu :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2-8)$$

Dimana $\Delta L = l - l_0$

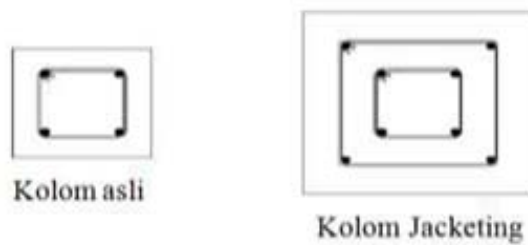
Dimana :

ΔL = perubahan panjang akibat beban (mm)

L = panjang semula (mm)

2.6 Perkuatan Kolom dengan Metode *Concrete Jacketing*

Metode *concrete jacketing* adalah suatu metode perbaikan atau perkuatan beton dengan cara memperbesar penampang dengan cara memberikan tambahan penulangan baik dari baja atau bambu atau bahan lainnya dan selimut beton dari beton sudah ada sebelumnya. Keuntungan utama dari sistem ini adalah memberikan peningkatan kekuatan dan pertambahan batas daktilitas beton.



Gambar 2.10. Tampak atas kolom dengan perkuatan *concrete jacketing*.

Metode *concrete jacketing* memiliki kelebihan dan kekurangan, adapun sebagai berikut:

- a. Kelebihan:
 1. Dapat meningkatkan daktilitas struktur dan kekuatan struktur.
 2. Dapat menambah kekakuan struktur.
 3. Dapat meningkatkan stabilitas struktur.
 4. Lebih ekonomis
- b. Kekurangan:
 1. Akan mengurangi ruang kosong yang ada, karena dengan adanya penambahan luasan penampang
 2. Pelaksanaan harus dilakukan dengan baik, jika tidak akan terjadi kekakuan pada beton yang tidak merata.
 3. Kemampuan kapasitas perkuatan dari metode *concrete jacketing* lebih rendah dibandingkan perkuatan dengan metode *steel jacketing*.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pada penelitian kali ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Untuk waktu dari penelitian ini dimulai dari bulan Februari 2018 sampai selesai.

3.2 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini diperlukan beberapa campuran bahan untuk memperoleh benda uji yang menunjang penelitian ini, antara lain :

3.2.1 *Pozzolan Portland Cement*

Pozzolan Portland Cement yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah semen merk Semen Gresik dengan berat 40 kg per kemasan. Sebelum penelitian, semen dipastikan dalam kondisi baik, serta tidak terjadi penggumpalan pada semen dalam kemasan.

3.2.2 Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Untuk spesifikasi ukuran agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah ukuran maksimum 2 cm dalam penggunaan kolom asli dan ukuran maksimum 0.5 cm dalam penggunaan kolom retrofit. Sedangkan untuk agregat halus yang digunakan adalah pasir hitam biasa. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Malang, namun sebelum digunakan dilakukan pengujian gradasi agregat, kadar air, berat jenis, dan berat isi dari masing-masing agregat untuk memperoleh karakteristik dari agregat tersebut.

3.2.3 Air

Air yang digunakan pada penelitian kali ini diambil langsung dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.2.4 Tulangan Baja

Pada penelitian ini digunakan tulangan baja pada pembuatan kolom utama. Ukuran tulangan baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah D10 mm untuk tulangan longitudinal atau tulangan utama dan Ø6 mm untuk tulangan transversal atau sengkang.

3.2.5 Tulangan Bambu

Pada penelitian ini digunakan tulangan bambu pada pembuatan kolom retrofit. Tulangan bambu yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 jenis, yaitu bambu petung untuk tulangan longitudinal dengan 2 jenis dimensi ukuran 1x1 cm dan 1x2 cm. Dan bambu apus untuk tulangan transversal menggunakan dengan dimensi ukuran 0.5x0.5 cm.

3.2.6 Sika Grout

Pada penelitian ini digunakan sika grout yang digunakan untuk menambal lubang-lubang atau keropos yang ada baik pada kolom utama maupun kolom retrofit. Hal ini sering terjadi karena kesalahan pada proses pelaksanaan pengecoran.

3.2.7 Bahan Perekat Beton

Pada penelitian ini digunakan bahan perekat beton untuk merekatkan kolom asli yang akan diperbaiki dengan kolom retrofit. Sehingga kolom asli akan menempel pada kolom retrofit pada saat pengecoran, dan tidak terjadi pemisahan diantara keduanya.

3.3 Peralatan Penelitian

Berikut adalah beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yang terdiri dari alat untuk mempersiapkan material hingga proses pengujian benda uji. Peralatan yang digunakan berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.3.1 Saringan

Saringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah saringan yang digunakan untuk analisis gradasi agregat adalah No. 1.5" hingga No. 4 untuk menentukan gradasi agregat kasar (kerikil) serta saringan No. 4 hingga No. 200 untuk gradasi agregat halus (pasir).

3.3.2 Timbangan

Timbangan pada penelitian ini digunakan untuk mengukur berat bahan penyusun beton, selain itu juga benda uji silinder dan kolom. Timbangan yang digunakan adalah

timbangan yang memiliki kapasitas 200 kg dengan ketelitian 10 gram dan timbangan yang memiliki kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0.1 gram.

3.3.3 Mesin Pengaduk Beton

Mesin ini digunakan untuk mengaduk campuran bahan-bahan beton hingga menjadi campuran yang homogen pada penelitian ini.

3.3.4 Cetakan Benda Uji

Cetakan benda uji yang digunakan pada penelitian antara lain cetakan/bekisting untuk benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta cetakan untuk benda uji kolom dengan ukuran 12 x 12 x 30 cm dan 18 cm x 18 cm x 30 cm. Cetakan benda uji silinder terbuat dari baja yang tersedia di laboratorium struktur dan bahan konstruksi, sedangkan cetakan benda uji kolom terbuat dari kayu dan multiplek.

3.3.5 Alat Uji Tekan

Alat uji tekan digunakan pada penelitian ini adalah *Compression Test Machine*. Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji beton sesungguhnya dalam satuan gaya.

3.3.6 Alat Uji Tarik

Alat uji tarik digunakan pada penelitian ini adalah *Hydraulic Universal Testing Machine (UTM)*. Alat uji tarik ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik dari tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm sesungguhnya.

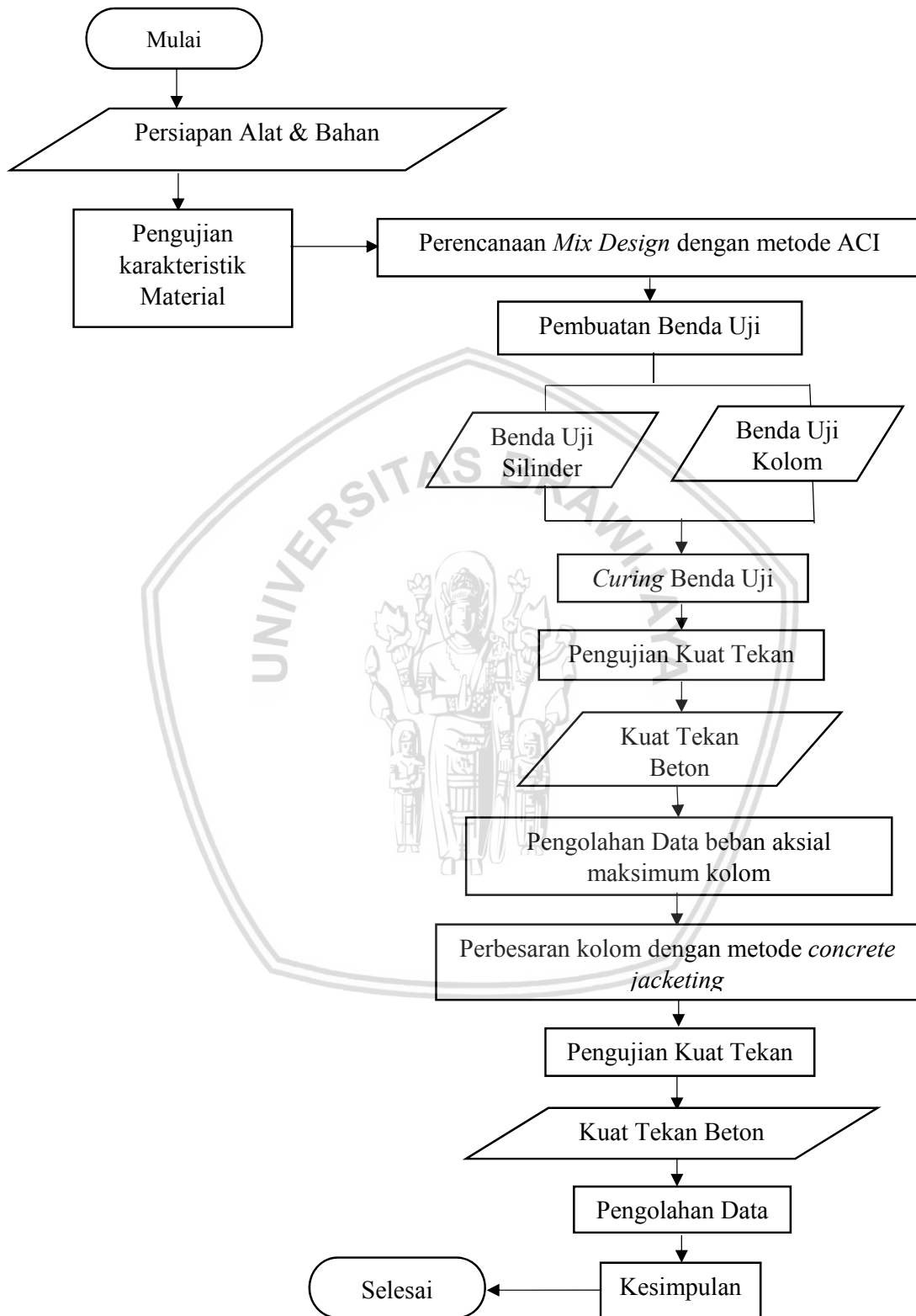
3.3.6 Dial Gauge Digital

Dial Gauge Digital digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui perubahan panjang dari benda uji pada saat diuji tekan sehingga mendapatkan data defleksi dari benda uji kolom dalam satuan mm panjang. Alat ini dipasang ketika pengujian tekan dilakukan.

3.3.7 Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya yang digunakan pada penelitian ini antara lain plat baja, karet dari ban dalam mobil, ember, alat pengaduk, karung goni, serta bak air untuk proses perawatan benda uji.

3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir tahapan penelitian

3.5 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini akan dibuat dua jenis benda uji yaitu benda uji silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit dan benda uji kolom. Benda uji silinder memiliki ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan benda uji kolom asli memiliki ukuran penampang 12 x 12 cm dan tinggi 30 cm dan benda uji kolom retrofit dengan ukuran penampang 18 x 18 cm dan tinggi 30 cm. Variasi jarak sengkang digunakan pada masing-masing benda uji kolom retrofit. Berikut detail dari variasi tulangan dan jarak sengkang yang digunakan pada kolom retrofit.

Tabel 3.1. Penelitian kolom retrofit dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda

Kode Kolom	Tulangan Bambu	rho	Sengkang bambu	
			1	2
			Jarak 5 cm	Jarak 7,5 cm
C	4bh 10 x 20 mm	2,47	3 buah	3 buah
D	8bh 10 x 10 mm	2,47	3 buah	3 buah

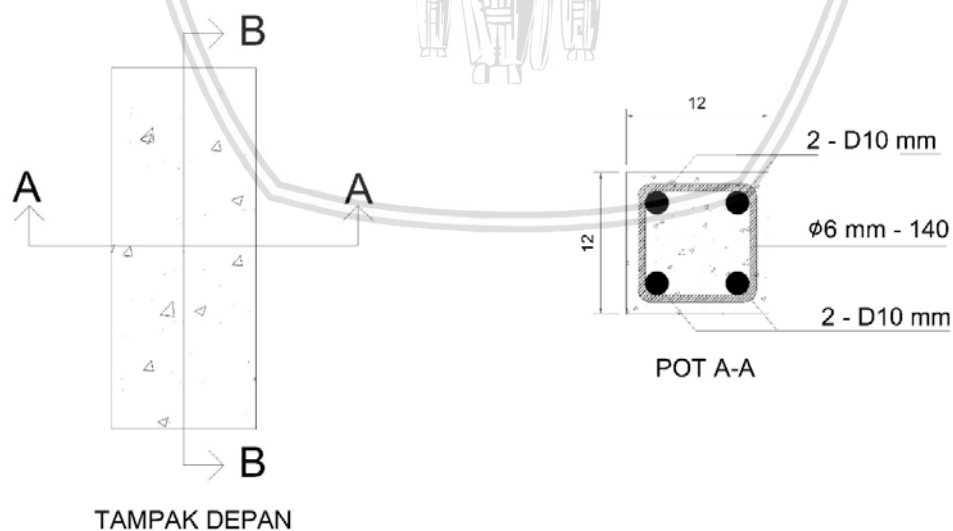
Pada penelitian kali ini dikhususkan pembuatan kolom retrofit dengan sengkang bambu untuk mendukung program *green construction*. Untuk kode kolom digunakan C.1 – C.2 dan D.1 – D.2. Yaitu, kolom retrofit kode C.1 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 5 cm, dibandingkan dengan kolom retrofit kode C.2 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 7.5 cm. Sedangkan kolom retrofit dengan kode D.1 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 5 cm, dibandingkan dengan kolom retrofit kode D.2 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 7.5 cm. Sehingga hasil akhir dari penelitian ini adalah efektifitas pengekangan kolom retrofit.

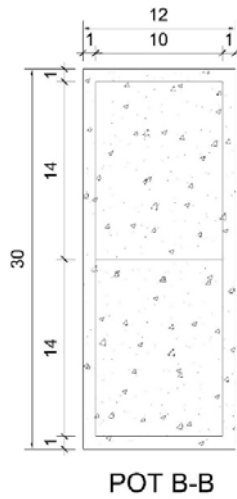
Jumlah benda uji yang digunakan pada saat pembuatan kolom asli yakni 3 buah benda uji silinder sampel kolom asli dan 12 benda uji kolom asli. Sedangkan jumlah benda uji pada pembuatan kolom retrofit juga berjumlah 3 buah benda uji silinder sampel kolom retrofit dan 12 benda uji kolom retrofit. Semua benda uji ini digunakan untuk pengujian tekan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Jumlah benda uji

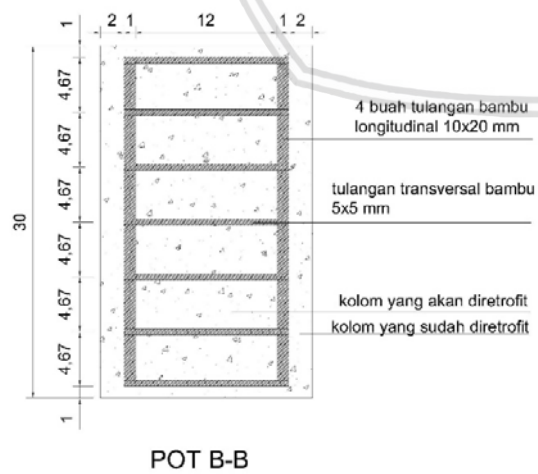
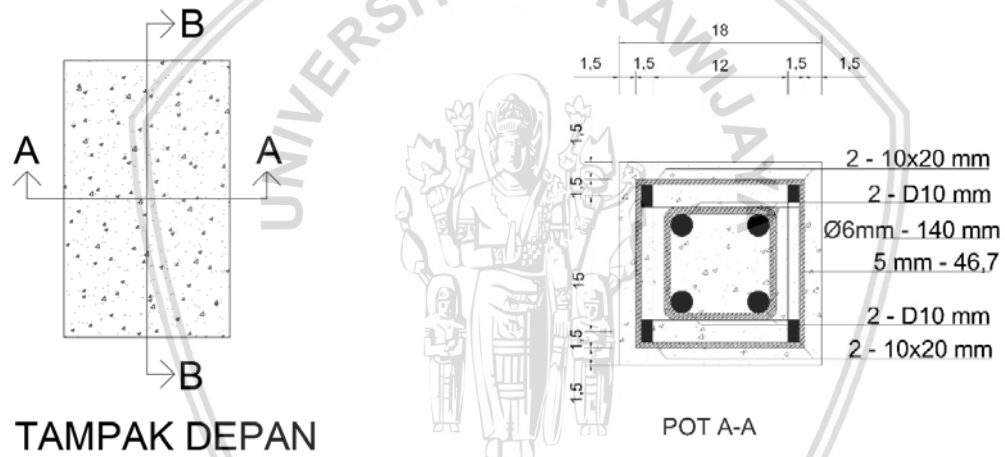
Varian	Jumlah
Benda uji silinder sampel kolom asli	3 buah
Benda uji kolom asli	12 buah
Benda uji silinder sampel kolom retrofit	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode C1	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode C2	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode D1	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode D2	3 buah

Benda uji silinder dibuat 3 buah untuk setiap pembuatan baik kolom asli maupun retrofit agar dapat mengetahui dan mengontrol kuat tekan dari kolom tersebut. Dengan catatan benda uji kolom tersebut memakai tulangan atau beton bertulang sedangkan benda uji silinder tidak menggunakan tulangan atau hanya beton saja. Berikut ini detail gambar dari kolom utama dan kolom retrofit :

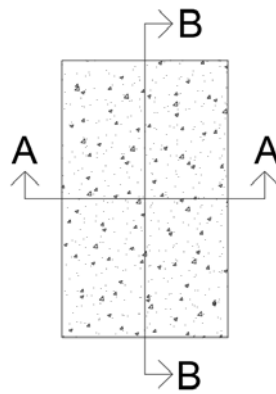




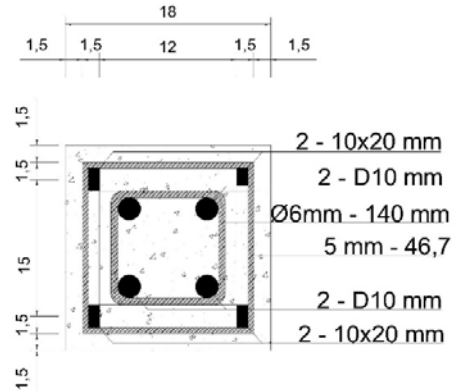
Gambar 3.2. Benda uji kolom asli



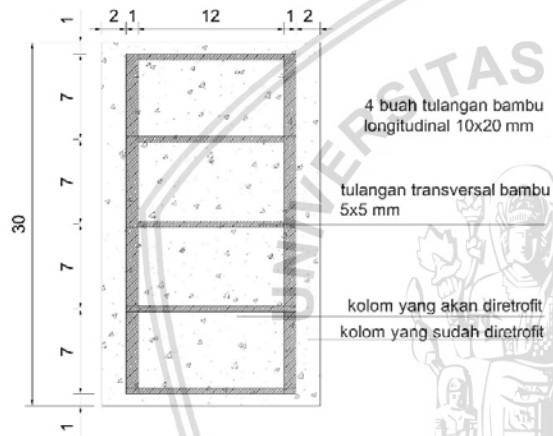
Gambar 3.3. Detail benda uji kolom retrofit C1



TAMPAK DEPAN

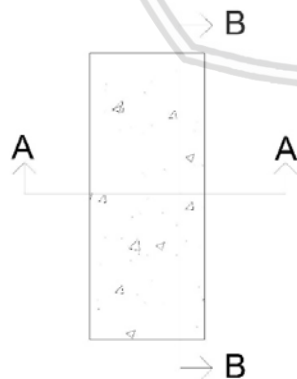


POT A-A

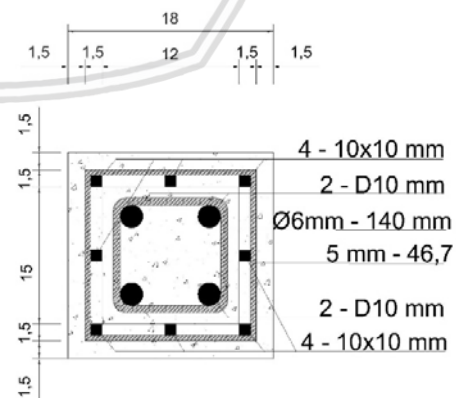


POT B-B

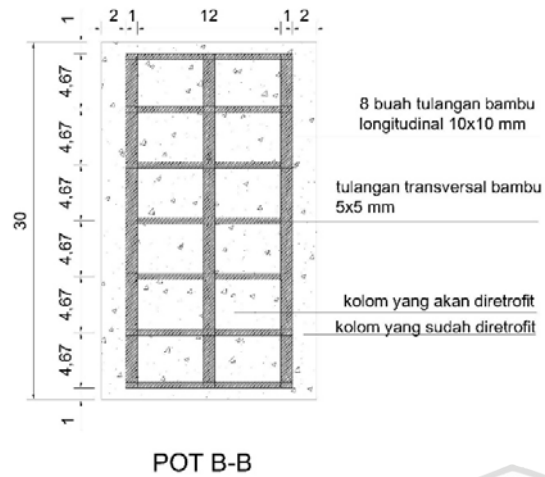
Gambar 3.4. Detail benda uji kolom C2



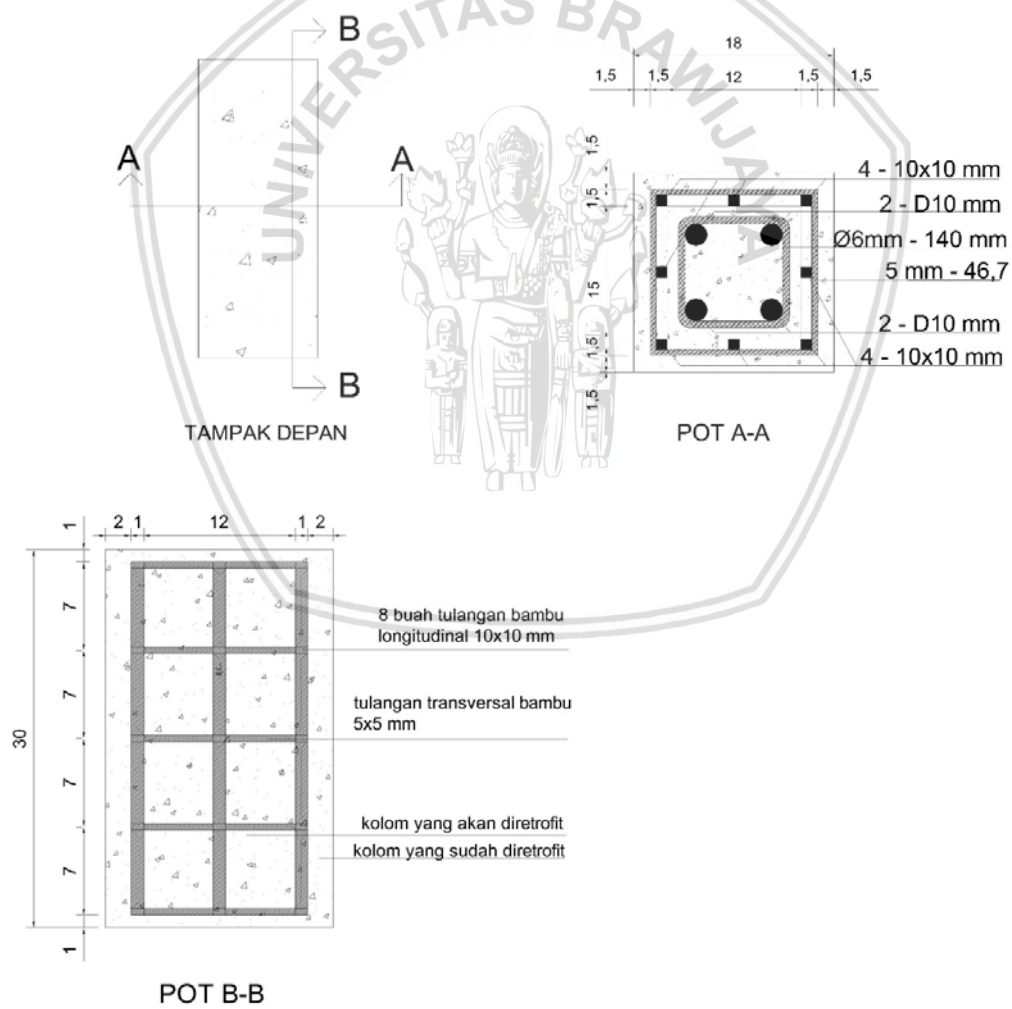
TAMPAK DEPAN



POT A-A



Gambar 3.5. Detail benda uji kolom D1



Gambar 3.6. Detail benda uji kolom D2

3.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah jarak sengkang pada kolom retrofit.
2. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah gaya tekan maksimum, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas pada kolom retrofit.

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan mengacu pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Unsur-unsur yang ada dalam pengujian karakteristik agregat halus dan kasar meliputi: analisis butiran, pengujian berat jenis penyerapan, kadar air, dan berat isi agregat.

3.7.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji kolom asli adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli sebelumnya.
5. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kolom.

Langkah-langkah pembuatan benda uji kolom retrofit adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli sebelumnya.

5. Benda uji kolom asli yang telah diuji tekan dan telah diberi perkuatan dengan menggunakan tulangan bambu petung dan sengkang bambu apus, diberi lem perekat agar beton kolom asli dan merekat dengan baik dengan beton baru untuk kolom retrofit. Setelah itu, kolom dimasukkan kedalam bekisting/cetakan yang telah disediakan.
6. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kolom.

3.7.3 Perawatan Benda Uji

Setelah cetakan benda uji silinder dan kolom dibuka dalam selang waktu 24 jam setelah pengecoran kemudian dilakukan perawatan dengan tujuan agar panas hidrasi semen tidak merusak kekuatan beton. Perawatan benda uji dilakukan selama 28 hari sesuai dengan umur beton rencana. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

1. Benda uji silinder direndam dalam bak berisi air dengan suhu $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$.
2. Benda uji kolom diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

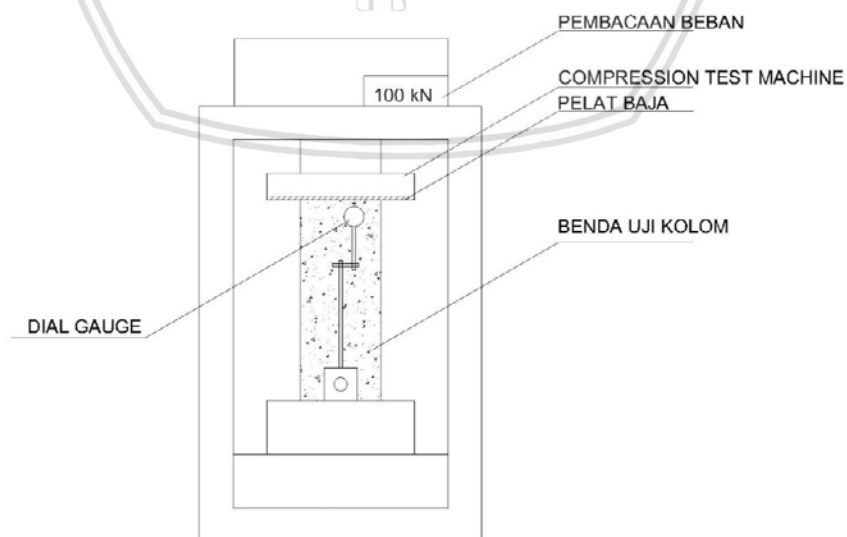
3.7.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

- a. Uji tekan beton silinder
 1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dan kerapatan beton sebagai data tambahan.
 2. Pada permukaan atas benda uji dilapisi (*caping*) dengan mortar belerang dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton.
 3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
 4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur.
 5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.

b. Uji tekan kolom

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji sebagai data tambahan.
2. Pada permukaan atas benda uji kolom diberi potongan ban dalam mobil yang terbuat dari karet dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton. Pada permukaan atas benda uji kolom diberi plat memanjang yang berfungsi sebagai penampang dial.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur. Dan untuk mendapatkan data perubahan panjang dari benda uji, digunakan dial yang berguna untuk membaca hasil perubahan panjang pada saat setiap penambahan beban. Pada setiap penambahan beban, data hasil bacaan tersebut dicatat untuk mendapatkan grafik hubungan gaya tekan dan defleksi serta grafik hubungan tegangan dan regangan beton. Untuk memperoleh data tersebut digunakan alat bantu video recorder, jadi selama pengujian berlangsung juga dilakukan perekaman video yang mampu memuat nilai beban yang dibaca oleh alat uji tekan dan defleksi yang dibaca oleh *dial gauge digital*.
5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.
6. Dan langkah yang sama dilakukan kembali mulai langkah 1 untuk mendapatkan data yang sama pada kolom retrofit



Gambar 3.7. Skema Pengujian Benda Uji Kolom Utama dan Retrofit

3.7.5 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik dari tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tarik baja adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu diukur diameternya dengan jangka sorong untuk mengetahui diameter sebenarnya tulangan tersebut.
2. Siapkan kertas millimeter blok untuk tempat hasil pembacaan tegangan regangan tarik dari benda uji dapat tergambar.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji tarik. Pastikan bahwa benda uji benar-benar dalam keadaan terjepit bagian atas dan bawahnya dengan kuat.
4. Mesin uji tekan dijalankan hingga benda uji putus.
5. Pada saat pengujian akan terlihat jarum pertama kali berhenti yang menunjukkan tegangan leleh dan pada pemberhentian jarum kedua yang menunjukkan kuat tarik maksimum. Setelah itu akan didapatkan grafik tegangan tarik dari benda uji.
6. Grafik yang didapat dari hasil pengujian akan di analisis.

3.8 Metode Analisis

3.8.1 Pengumpulan Data

Dari pengujian yang telah dilakukan diambil beberapa data-data yang diperlukan. Pengujian kuat tekan menghasilkan data-data beban maksimum yang kemudian dikonversikan menjadi kuat tekan atau tegangan dari setiap benda uji beton dan data perubahan panjang dari kolom yang akan dikonversikan menjadi defleksi. Data-data tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan masing-masing variasi dari beton. Nilai dari beban dan perubahan panjang yang terjadi diperoleh dari video yang telah dibuat pada saat pengujian tekan untuk benda uji kolom dengan cara *play and pause* saat pemutaran video tiap beberapa detik untuk membaca nilai beban dan perubahan panjang.

Tabel 3.3. Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit.

NO	Kode Benda	Umur	Slump	Berat	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-Rata
	Uji	(Hari)	(cm)	(kg)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)

Tabel 3.4. Form pengumpulan data dari pengujian kuat beban aksial kolom asli dan kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom Asli Aktual	Rata-Rata Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom Asli Teoritis Aktual
		(MPa)	(kN)	(kN)

Tabel 3.5 Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm

Benda Uji	Diameter	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)

3.8.2 Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan tegangan-regangan kolom retrofit, kapasitas aksial tekan kolom dan defleksi kolom retrofit, kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit dan efektifitas rasio tulangan dan jarak sengkang pada kolom retrofit. Penelitian ini menggunakan alat *compression test* dan *dial gauge*, *compression test* tersebut akan didapatkan kapasitas aksial tekan maksimum kolom dan akan dibagi dengan luasan penampang kolom tersebut maka akan di dapatkan daya tekan dari kolom tersebut dan *dial gauge* akan menghasilkan nilai defleksi yang didapatkan dari hasil perpanjangan/perpendekan kolom akibat diberi beban. Selain itu, data-data yang telah didapatkan pada kapasitas tekan maksimum kolom retrofit akan didapatkan variasi rasio tulangan dan jarak sengkang yang paling efektif. Pada penelitian ini parameter tegangan-regangan didasarkan pada nilai gaya tekan dan defleksi dari kolom. Pada pengolahan data ini akan dibandingkan antara hasil uji secara aktual dengan teoritis.

Tabel 3.6. Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit

Tabel 3.7. Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit

No	Defleksi	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		mm	kN	kN	kN

Tabel 3.8. Tabel pengolahan data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

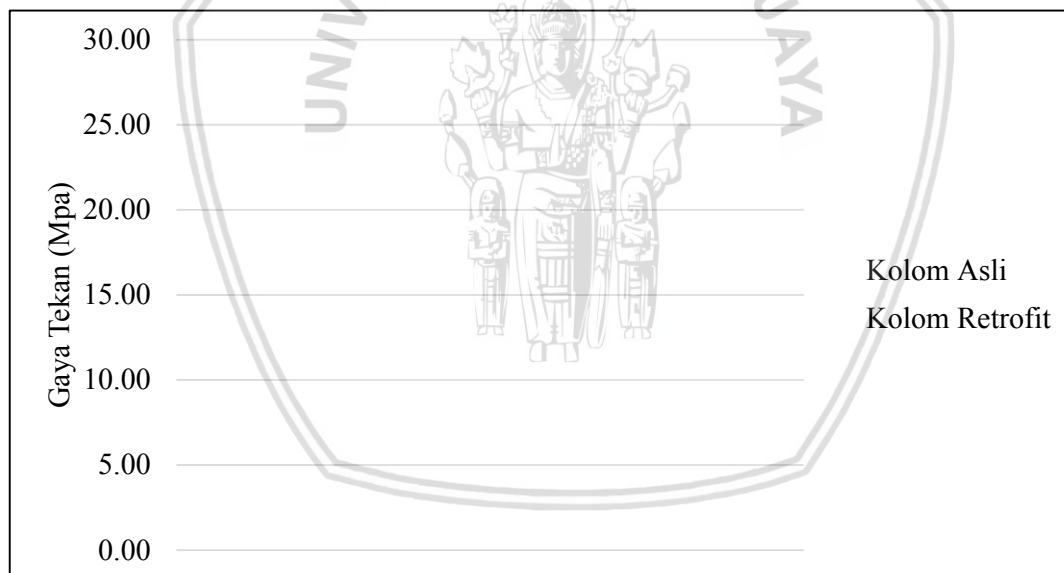
NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit

Tabel 3.9. Tabel pengolahan data tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit

No	Regangan	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA - RATA
		Tegangan kN/mm ²	Tegangan kN/mm ²	Tegangan kN/mm ²	Tegangan kN/mm ²

Tabel 3.10. Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit

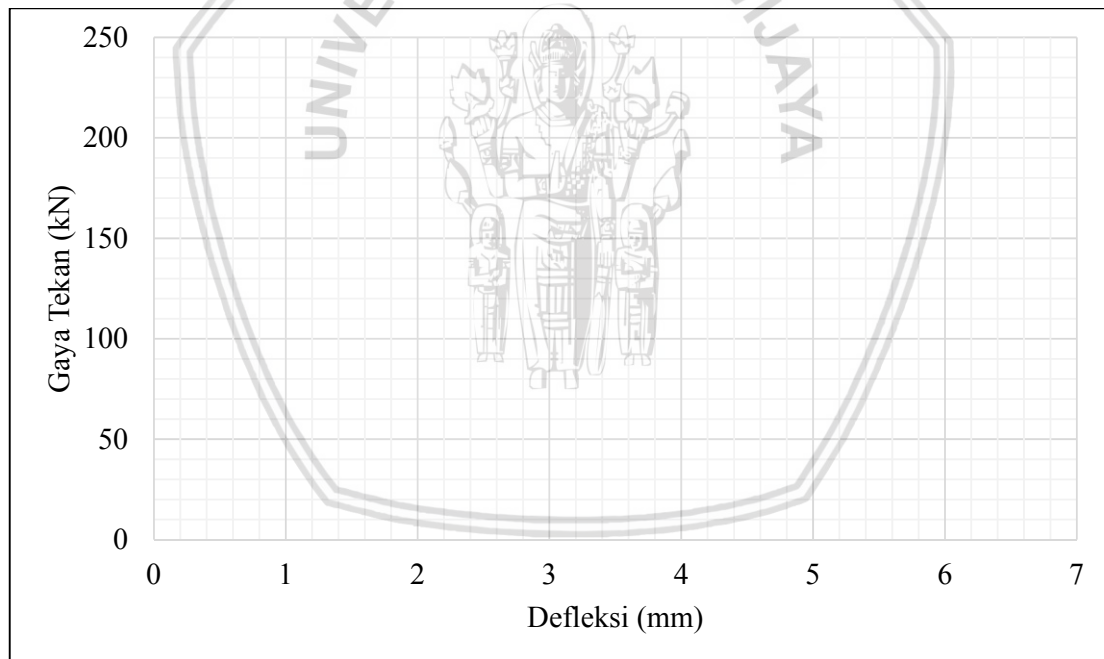
Kolom	Gaya Tekan Max	Δy	Beban Runtuh	% Beban Keruntuhan	Beban Runtuh	Δu	Daktilitas	Peningkatan Daktilitas
	kN	mm	kN		kN	mm		%



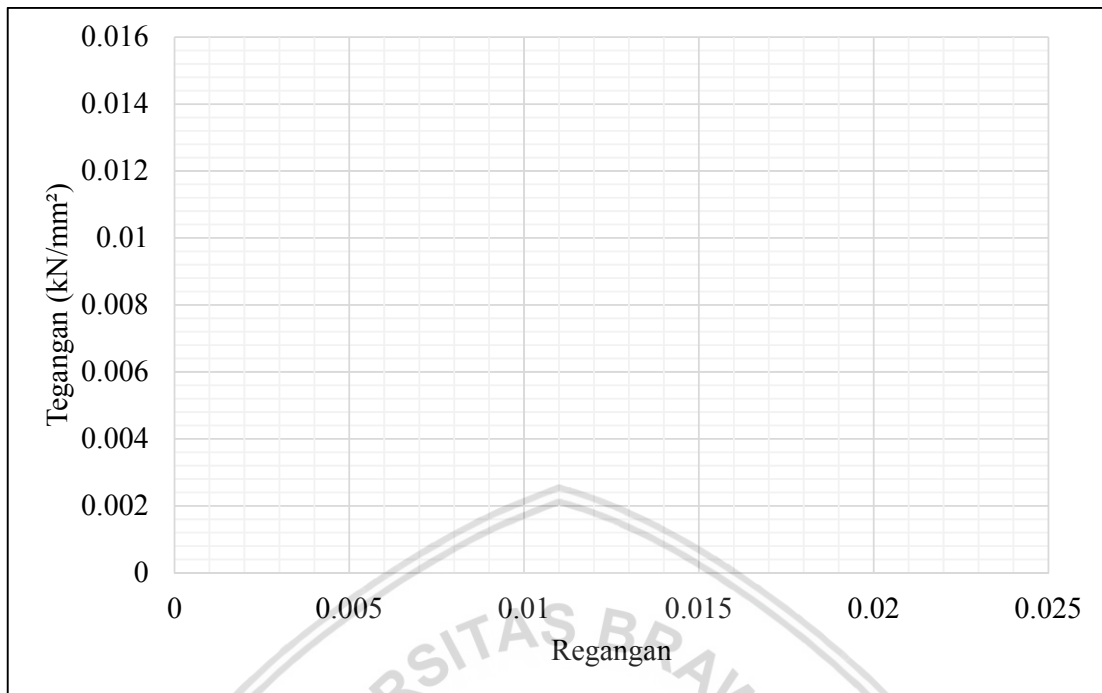
Gambar 3.8. Grafik perbandingan kuat tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit.



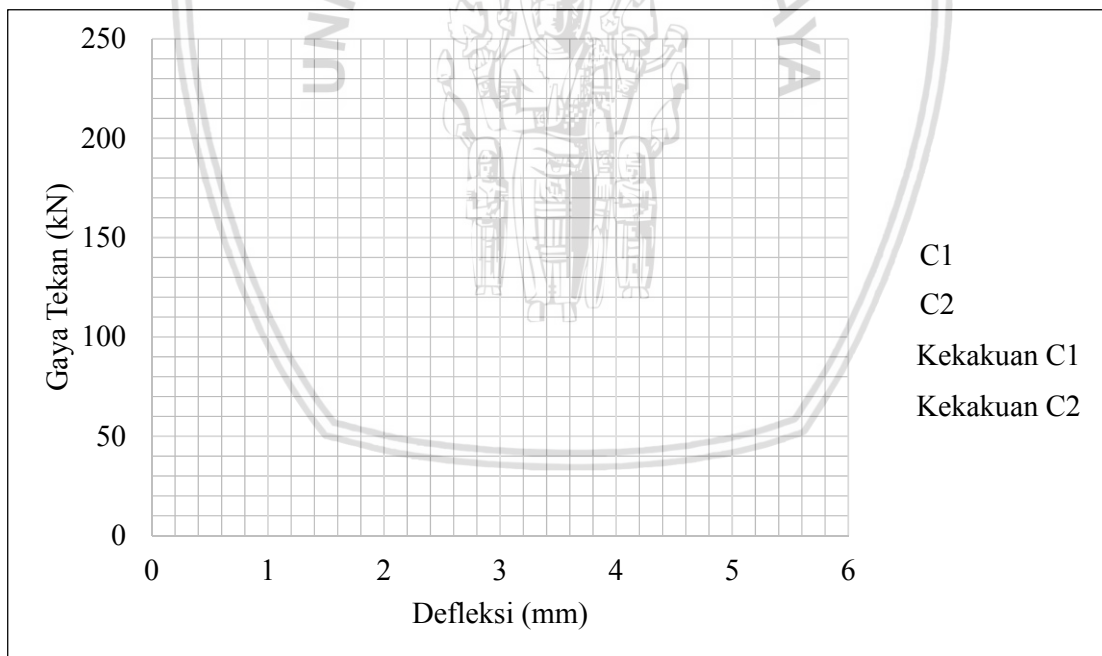
Gambar 3.9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dengan retrofit



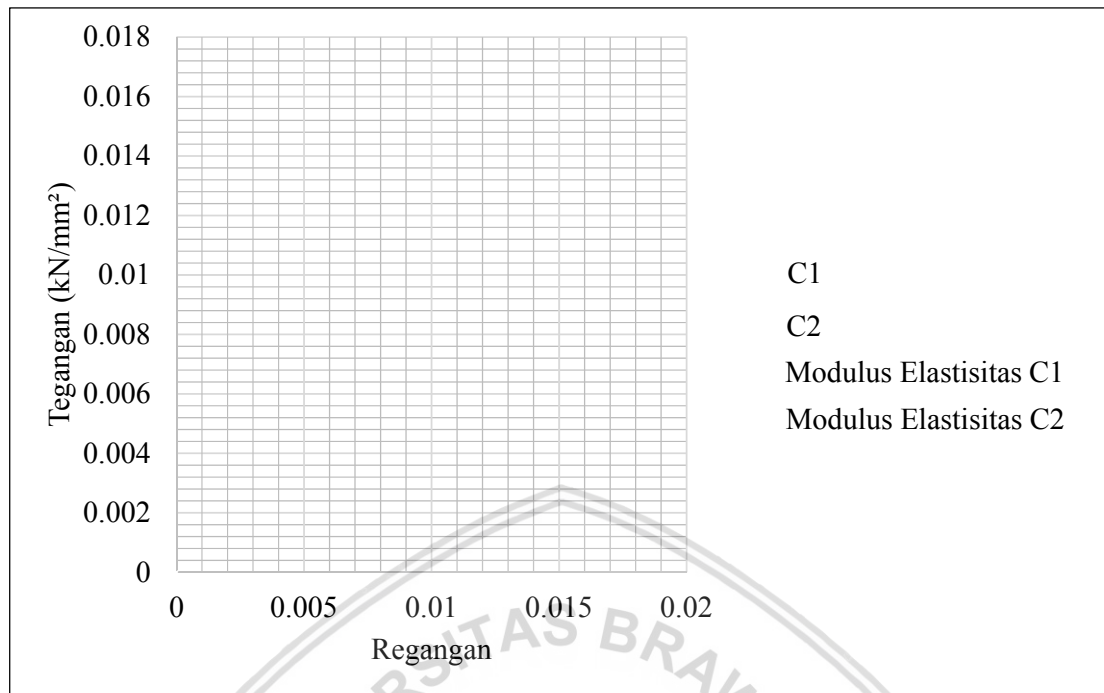
Gambar 3.10. Grafik gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit



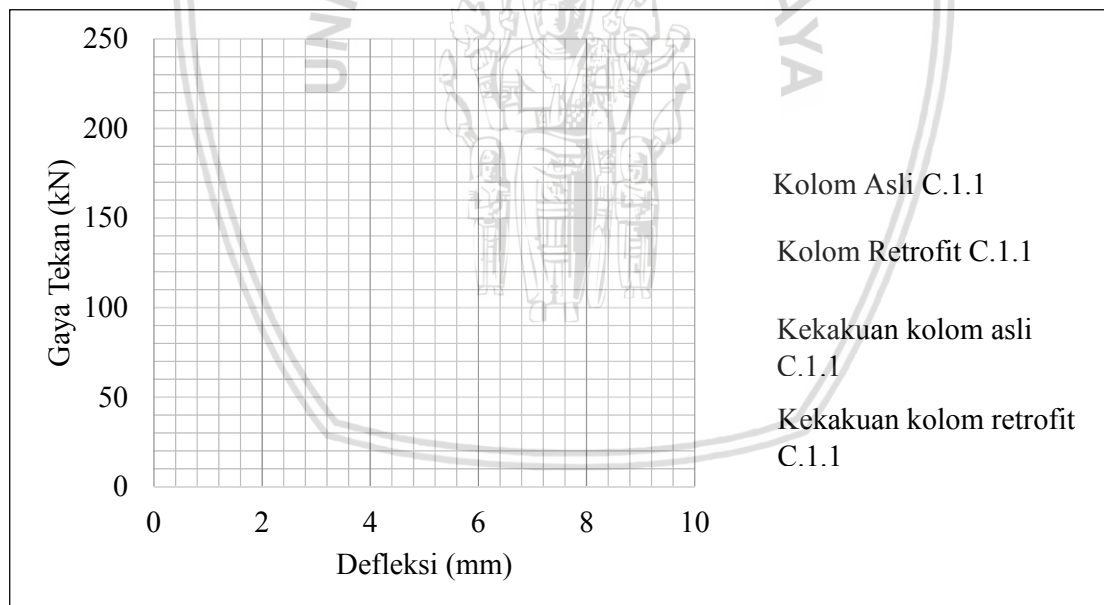
Gambar 3.11. Grafik tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit



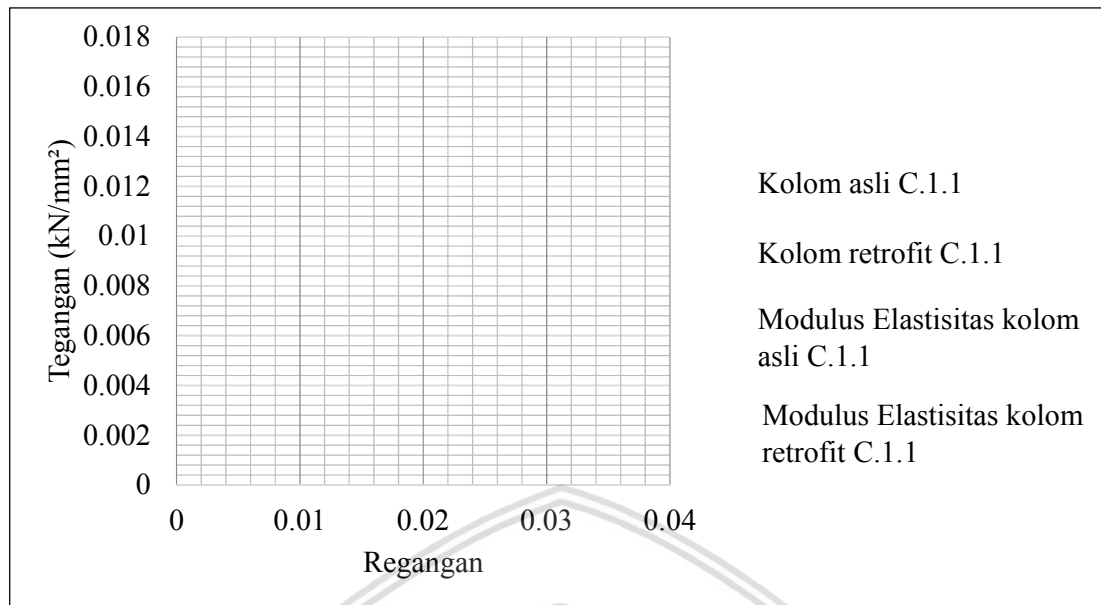
Gambar 3.12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit



Gambar 3.13. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit



Gambar 3.14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit



Gambar 3.15. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit.

3.9 Hipotesis Penelitian

Dari tinjauan pustaka yang telah dibahas pada penelitian ini maka dapat dibuat hipotesis untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Gaya tekan maksimum kolom retrofit jarak sengkang yang rapat akan lebih besar dibandingkan dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit jarak sengkang yang renggang.
2. Nilai kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas pada kolom retrofit dengan jarak sengkang yang rapat akan semakin besar dibandingkan dengan kolom retrofit dengan jarak sengkang yang renggang.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Material Penyusun Benda Uji

4.1.1 Agregat Halus

Hasil pemeriksaan karakteristik dari agregat halus yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

1. Zona agregat : zona 1
2. Berat jenis SSD : 2.48
3. Penyerapan : 4.43 %
4. Berat isi : 1436.9 gr/cc
5. Kadar air : 3.77 %

4.1.2 Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan karakteristik dari agregat kasar yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

1. Zona agregat : max 20 mm untuk kolom asli, dan max 10 mm untuk kolom retrofit
2. Berat jenis SSD : 2.72
3. Penyerapan : 0.25 %
4. Berat isi : 1526.7 gr/cc
5. Kadar air : 2.42 %

4.1.3 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu semen *Portland pozzolan cement* (PPC) dengan merk semen gresik kemasan 40 kg.

4.1.4 Air

Air yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah air bersih dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) yang diperoleh langsung dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang.

4.1.5 Tulangan Baja

Dari hasil pengujian tulangan baja yang akan digunakan diperoleh nilai dari tegangan leleh (f_y) dan tegangan putus atau tegangan ultimate (f_u) dari sampel tulangan baja yang akan digunakan. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian tarik baja. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4.1. Uji Tulangan Baja Ø6 mm

Benda Uji	Diameter	Tegangan Leleh (f_y)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
1A	6	282.94	389.05	282.94	365.47
1B	6	282.94	353.68		
1C	6	282.94	353.68		

Tabel 4.2. Uji Tulangan Baja D10 mm

Benda Uji	Diameter	Tegangan Leleh (f_y)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
2A	10	407.44	560.23	409.56	560.23
2B	10	407.44	547.49		
2C	10	413.80	572.96		

4.2 Campuran Beton

Setelah dilakukan perhitungan *mix design* sesuai dengan SNI perencanaan campuran beton normal maka diperoleh proporsi masing-masing bahan yang akan digunakan sebagai campuran beton, yaitu :

Semen : Pasir : Kerikil : Air = 1 : 2.3 : 3 : 0.7

4.3 Uji Slump Beton

Pengujian slump atau *slump test* digunakan untuk mengetahui kekentalan dari adukan beton yang telah dibuat. Uji slump dilakukan dengan bantuan alat bernama “kerucut abrams”. FAS yang direncanakan pada campuran beton penelitian kali ini adalah 0,6, dimana

dibuat masing-masing 3 benda uji silinder untuk kolom asli maupun kolom retrofit. Dimana hasil dari *slump test* yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3. Hasil Uji Slump Beton Silinder untuk Benda Uji Kolom Asli

NO	Kode Benda Uji	Slump (cm)
1	C1	11
2	C2	11
3	D3	11
4	D2	11

Tabel 4.4. Hasil Uji Slump Beton Silinder untuk Benda Uji Kolom Retrofit

NO	Kode Benda Uji	Slump (cm)
1	C1R	13
2	C2R	13
3	D1R	13
4	D2R	13

Pada penelitian kali ini campuran beton didesain dengan nilai slump antara 60-180 mm, sehingga campuran beton yang digunakan telah memenuhi syarat.

4.4 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder

Benda uji silinder dibuat untuk sampel dari kolom asli dan kolom retrofit berjumlah masing-masing 3 buah. Dimana hal ini dilakukan untuk mengetahui mutu beton (f'_c) dari benda uji kolom asli dan kolom retrofit. Benda uji silinder ini sendiri memiliki dimensi dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Untuk menghitung dari kuat tekan beton (f'_c) dari benda uji silinder yang telah dibuat, digunakan rumus :

$$f'_c = \frac{P_{max}}{A}$$

Dimana :

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P_{max} = Beban maksimum (kN)

A = Luas tekan penampang (mm²)

Tabel 4.5. Hasil uji kuat tekan benda uji silinder beton (sampel benda uji kolom asli)

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Gaya Tekan (Mpa)	Gaya Tekan Rata-Rata (Mpa)
1	A1		11	12.8	336	19.01	
2	A2	28	11	12.75	344	19.47	19.24
3	A3		11	12.8	324	18.33	

Tabel 4.6. Hasil uji kuat tekan benda uji silinder beton (sampel benda uji kolom retrofit)

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Gaya Tekan (Mpa)	Gaya Tekan Rata-Rata (Mpa)
1	R1		13	12.25	160	9.05	
2	R2	28	13	12.35	231	13.07	13.58
3	R3		13	12.4	329	18.62	

Berikut contoh perhitungan kuat tekan beton (Benda uji silinder beton A1 sampel benda uji kolom asli):

Diketahui :

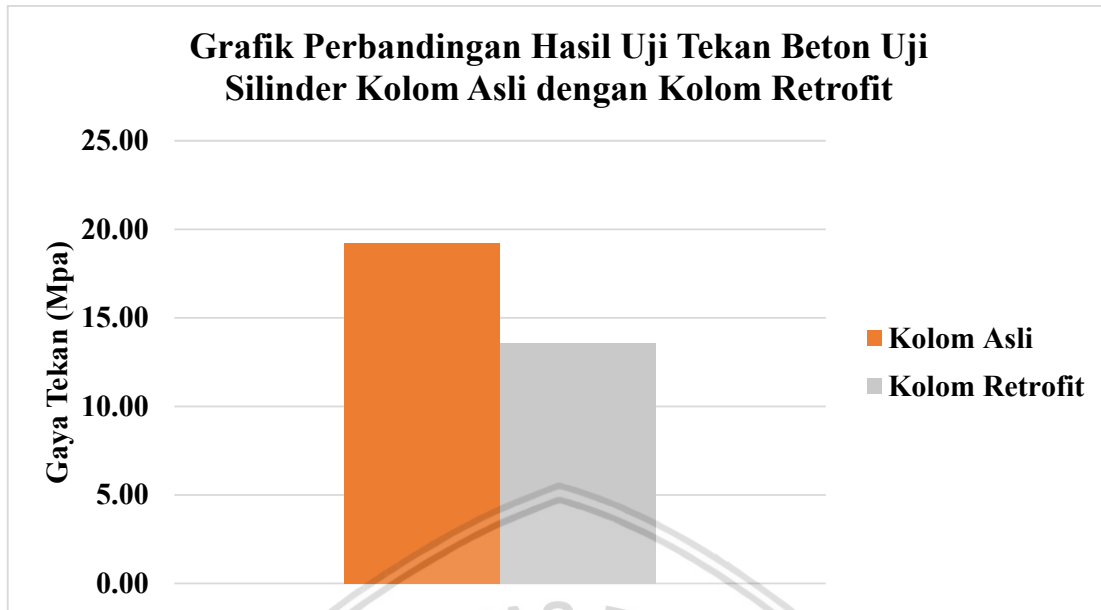
$$P_{max} = 336 \text{ kN} = 336000 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 150^2 \\
 &= 17671.46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Ditanya : f'_c ?

Jawab :

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P_{max}}{A} \\
 &= \frac{336000}{17671.46} \\
 &= 19.01 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.1. Grafik perbandingan hasil rata-rata uji tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit

Dari hasil pengujian benda uji silinder yang telah dilakukan diperoleh nilai rata-rata yaitu untuk benda uji kolom asli memiliki kuat tekan sebesar 19.24 MPa, dan untuk benda uji kolom retrofit memiliki kuat tekan sebesar 13.58 MPa. Sedangkan mutu beton dalam perencanaan *mix design* adalah 15 MPa. Hasil dari pengujian benda uji silinder menunjukkan bahwa kuat tekan beton yang dihasilkan tidak jauh dari perencanaan *mix design*.

4.5 Pengujian Kuat Beban Aksial Kolom

Pada penelitian kali ini dibuat sebanyak masing-masing 12 sampel baik itu untuk kolom asli maupun kolom retrofit. Kolom asli memiliki dimensi 12 x 12 x 30 cm dan kolom retrofit memiliki dimensi 18 x 18 x 30 cm. Tujuan dari pengujian kuat beban aksial kolom atau kuat beban aksial aktual (P_u) ini nantinya akan dibandingkan dengan kuat beban aksial kolom

Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung kuat beban aksial kolom (P_n) :

Rumus kuat beban aksial kolom asli :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

Rumus kuat beban aksial kolom retrofit :

$$P_{n(max)} = 50\%[0.85 f'_c (A_{gkolom\ asli} - A_{st}) + f_y.A_{st}] + [0.85 f'_c (A_{gkolom\ retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})].$$

Dimana :

P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

A_g = luas penampang bruto beton (mm²)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_y = tegangan leleh dari tulangan longitudinal (MPa)

A_{bambu} = luas penampang bambu (mm²)

$f_{tk\ bambu}$ = kuat tekan bambu (MPa)

Pada rumus menghitung kuat beban aksial kolom retrofit diambil rumus 50% kuat beban aksial kolom asli dikarenakan pada saat pengujian kuat beban aksial beban dihentikan pada saat kolom asli mengalami penurunan kuat beban sebesar 50% dari kuat beban puncak. Sehingga asumsi bahwa kuat tekan nominal yang dimiliki oleh kolom asli yaitu tersisa 50%.

Berikut hasil gaya tekan dari masing-masing benda uji kolom asli dan kolom retrofit:

Tabel 4.7. Hasil kuat beban aksial kolom asli

NO	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton (fc') (Mpa)	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Teoritis (Mpa)	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Aktual (kN)
1	C1	C.1.1	19.24	207.80
2		C.1.2		258.70
3		C.1.3		209.30
4	C2	C.2.1	19.24	195.10
5		C.2.2		175.60
6		C.2.3		209.00
7	D1	D.1.1	19.24	198.90
8		D.1.2		176.80
9		D.1.3		192.90
10	D2	D.2.1	19.24	210.80
11		D.2.2		219.20
12		D.2.3		213.60

Tabel 4.8. Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom asli

NO	Kode Benda Uji Kolom Asli	Gaya Tekan Beton (f_c')	Kekuatan Nominal Kolom (P_n) Secara Teoritis	Kekuatan Maksimum Kolom (P_u) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN
1	C1	19.24	359.03	191.83
2	C2	19.24	359.03	184.50
3	D1	19.24	359.03	181.40
4	D2	19.24	359.03	206.80

Untuk tabel hasil kuat beban aksial rata-rata kolom asli didapatkan dari rata – rata data kuat beban aksial per sampel kolom asli dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom asli harus senilai.

Berikut contoh perhitungan kuat beban aksial nominal kolom asli ($P_n \text{ max}$) (Kolom C.1) :

Diketahui :

$$f'_c = 19.24 \text{ MPa}$$

$$A_g = 120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 409.56 \text{ MPa}$$

Ditanya : $P_n \text{ (max) ?}$

Jawab :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

$$P_{n(max)} = 0.85 \times 19.24 (14400 - 78.54) + 409.56 \times 78.54$$

$$P_{n(max)} = 359030 \text{ N} = 359.03 \text{ kN}$$

Tabel 4.9. Hasil kuat beban aksial kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji		Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Teoritis	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Aktual
			(Mpa)	(Mpa)	(kN)
1	C1	C.1.1	13.58	412.58	238.90
2		C.1.2			268.80
3		C.1.3			238.90
4	C2	C.2.1	13.58	412.58	280.70
5		C.2.2			246.80
6		C.2.3			269.40
7	D1	D.1.1	13.58	412.58	229.50
8		D.1.2			257.80
9		D.1.3			272.10
10	D2	D.2.1	13.58	412.58	228.90
11		D.2.2			208.80
12		D.2.3			249.60

Tabel 4.10. Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom Retrofit	Gaya Tekan Beton (fc')	Kekuatan Nominal Kolom (Pn) Secara Teoritis	Kekuatan Maksimum Kolom (Pu) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN
1	C1	13.58	412.58	242.37
2	C2	13.58	412.58	255.47
3	D1	13.58	412.58	236.23
4	D2	13.58	412.58	208.47

Untuk tabel hasil kuat beban aksial rata-rata kolom retrofit didapatkan dari rata – rata data kuat beban aksial per sampel kolom retrofit dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom asli harus senilai.

Berikut ini adalah contoh perhitungan kuat beban aksial nominal kolom (Pn max) retrofit (Kolom C.1):

Diket :

f'c kolom asli = 19.24 MPa

f'c kolom retrofit = 13.58 MPa

Ag kolom asli = 120 mm x 120 mm = 14400 mm²

$$A_g \text{ kolom retrofit} = 180 \text{ mm} \times 180 \text{ mm} = 32400 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \times \pi \times (6 \text{ mm})^2 = 28.27 \text{ mm}^2$$

$$A \text{ bambu} = 10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} = 200 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 409.56 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} \text{ bambu} = 43.13 \text{ MPa}$$

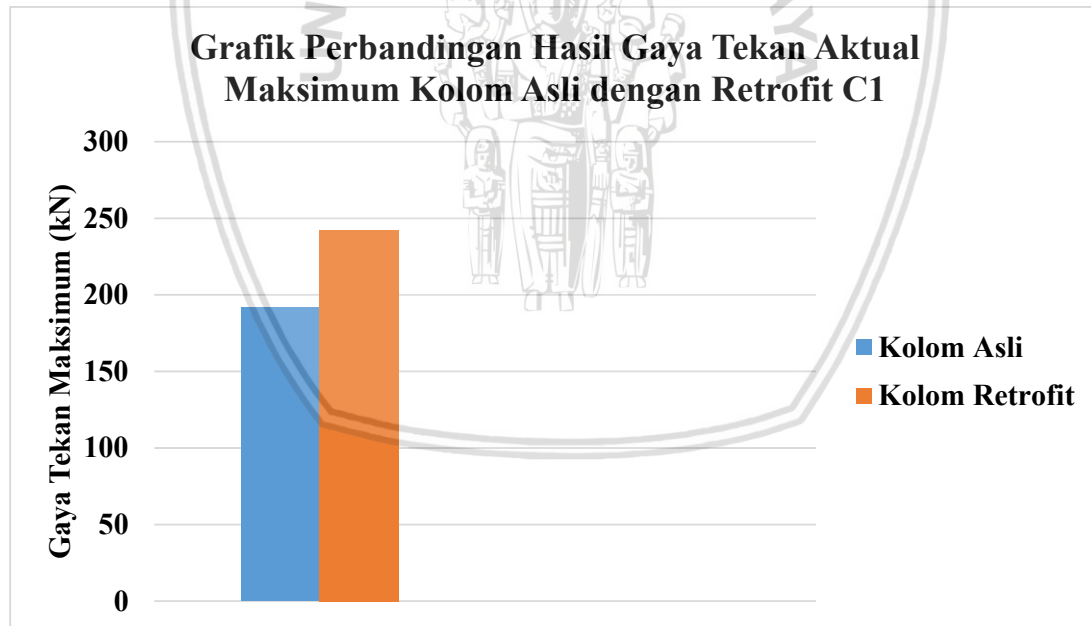
Dit : $P_n \text{ (max) ?}$

Jawab :

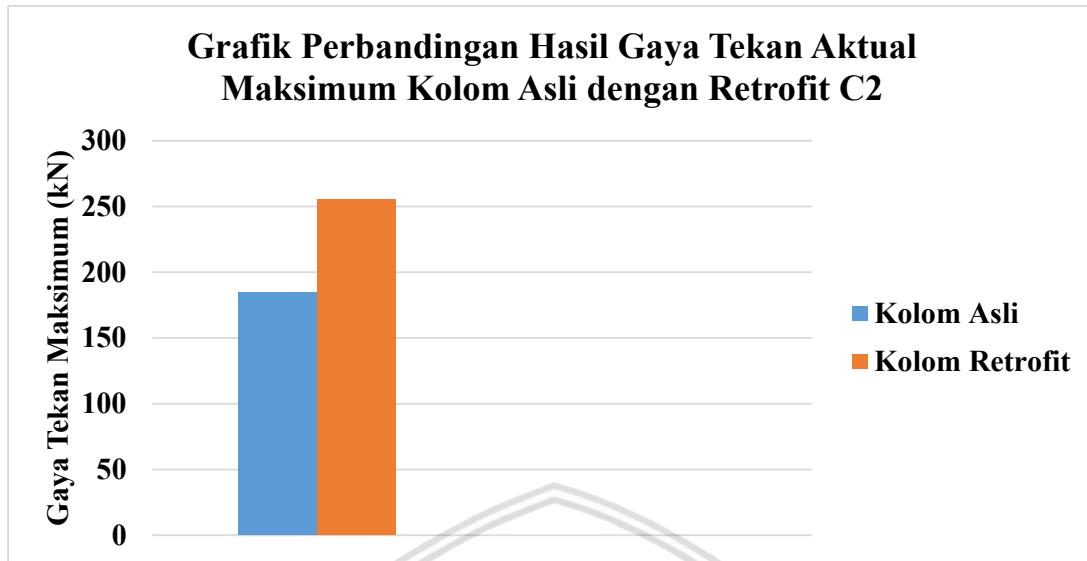
$$P_{n(max)} = 50\% [0.85 f'_c (A_{gkolom \text{ asli}} - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] + [0.85 f'_c (A_{gkolom \text{ retrofit}} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})]$$

$$P_{n(max)} = 50\% [0.85 \times 19.24 (14400 - 28.27) + 409.56 \times 28.27] + [0.85 \times 13.58 ((32400 - 14400) - 200) + (200 \times 43.13)]$$

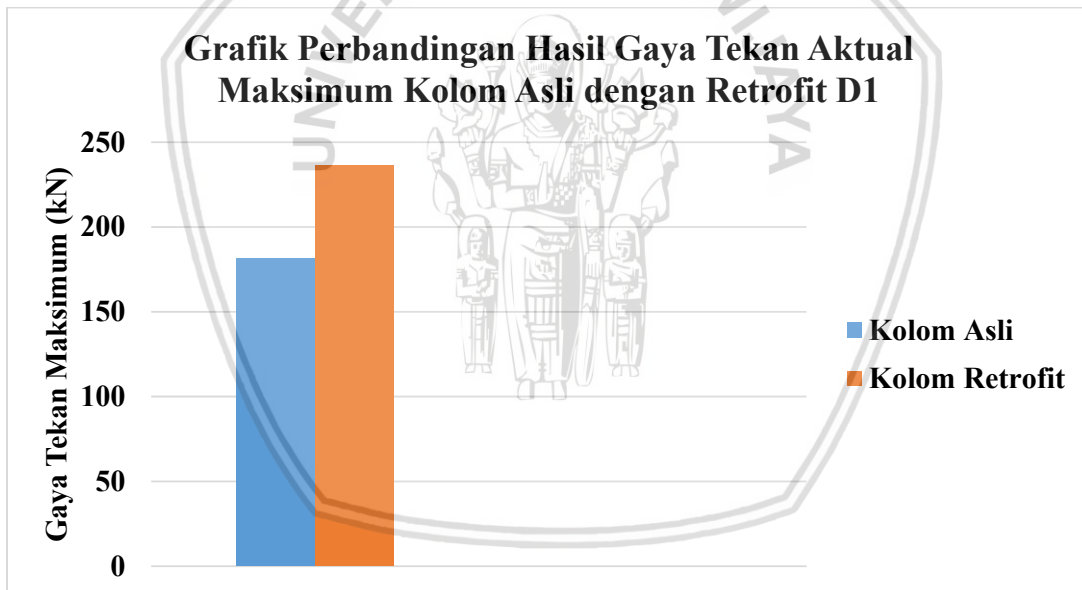
$$P_{n(max)} = 412580 \text{ N} = 412.58 \text{ kN}$$



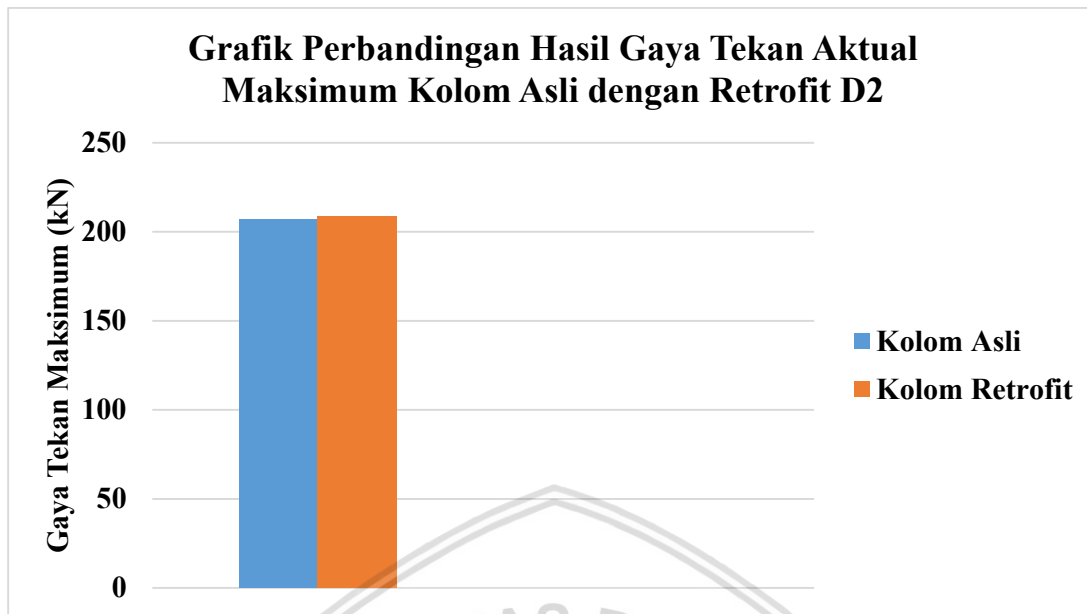
Gambar 4.2. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C1 dengan kolom retrofit C1



Gambar 4.3. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C2 dengan kolom retrofit C2



Gambar 4.4. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D1 dengan kolom retrofit D1



Gambar 4.5. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D2 dengan kolom retrofit D2

Dari penelitian yang telah dilakukan kuat beban aksial kolom asli dengan kolom retrofit didapatkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli C.1 sebesar 191.8 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit C.1 sebesar 242.4 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit C.1 sebesar 26.35% dari kuat beban aksial maksimum kolom asli C.1. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli C.2 sebesar 184.5 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit C.2 sebesar 255.5 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit C.2 sebesar 38.47 % dari kuat beban aksial maksimum kolom asli C.2. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli D.1 sebesar 181.4 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit D.1 sebesar 236.2 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit D.1 sebesar 30 % dari kuat beban aksial maksimum kolom asli D.1. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli D.2 sebesar 206.8 kN sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit D.2 sebesar 208.5 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit D.2 sebesar 0.81% dari kuat beban aksial maksimum kolom asli D.2.

4.6 Pembahasan

4.6.1 Hubungan Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Hasil gaya tekan dan defleksi yang diperoleh dari pengujian kolom asli dan kolom retrofit bisa ditindak lanjuti untuk mengetahui nilai kekakuan dari suatu benda. Nilai kekakuan itu sendiri adalah nilai kemiringan dari suatu hubungan antara beban dan defleksi. Dimana nilai kekakuan ini dapat dijadikan sebuah parameter agar sebuah struktur tidak terjadi deformasi yang berlebihan.

Berikut rumus untuk mencari nilai kekakuan :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)

Untuk analisis mencari nilai kekakuan kolom asli dan kolom retrofit memakai metode yang dilakukan oleh Park (1988) yakni, untuk nilai gaya tekan beton bertulang diambil dari 75 % dari nilai gaya tekan maksimum dan nilai defleksi diambil pada saat 75 % dari nilai gaya tekan maksimum tersebut.

Tabel 4.11. Tabel data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)		
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	
1	C1	C.1.1	207.8	238.9	155.85	179.18	2.24	1.48	69.69	121.00
2		C.1.2	258.7	268.8	194.03	201.60	2.14	0.42	90.50	485.51
3		C.1.3	209.3	238.9	156.98	179.18	1.04	1.52	151.17	117.64
4	C2	C.2.1	195.1	280.7	146.33	210.53	0.69	0.40	213.31	520.86
5		C.2.2	175.6	246.8	131.70	185.10	0.67	0.88	197.58	211.12
6		C.2.3	209.0	269.4	156.75	202.05	0.86	2.06	182.77	97.89
7	D1	D.1.1	198.9	229.5	149.18	172.13	2.31	1.98	64.47	86.89
8		D.1.2	176.8	257.8	132.60	193.35	0.72	2.33	184.36	82.91
9		D.1.3	192.9	272.1	144.68	204.08	0.97	1.17	149.26	173.78
10	D2	D.2.1	210.8	228.9	158.10	171.68	1.17	1.92	135.11	89.30

11	D.2.2	219.2	208.8	164.40	156.60	1.47	0.93	112.06	168.89
12	D.2.3	213.6	249.6	160.20	187.20	1.16	1.54	138.15	121.67

Tabel 4.12. Tabel data rata –rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	C1	191.8	242.4	143.88	181.78	0.79	1.60	181.06	113.96
2	C2	184.5	255.5	138.38	191.60	0.77	0.91	180.06	210.30
3	D1	181.4	236.2	136.05	177.18	1.18	1.19	115.67	148.80
4	D2	206.8	208.5	155.10	156.35	1.79	1.29	86.88	121.24

Untuk tabel hasil rata – rata kekakuan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit didapatkan dari rata – rata data gaya tekan per sampel kolom asli dan kolom retrofit, bukan dari rata-rata aljabar dari setiap sampel. Karena nilai defleksi pada saat beban maksimum masing-masing kolom berbeda.

Contoh perhitungan kekakuan kolom (k) (Kolom asli C.1) :

Diketahui :

$$P_{\max} = 191,8 \text{ kN}$$

$$75\% P_{\max} = 75 \% \times 191.8 = 143.88 \text{ kN}$$

$$\Delta 75\% P_{\max} = 0,79 \text{ mm}$$

Ditanya : k ?

Jawab :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

$$k = \frac{143.88 \text{ kN}}{0.79 \text{ mm}}$$

$$k = 181.06 \text{ kN/mm}$$

4.6.1.1 Kolom Asli C.1 – Kolom Retrofit C.1

Tabel 4.13. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1

Defleksi mm	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN
0	0	0	0	0
0.1	12.35	39.525	19.54	23.81
0.2	24.7	79.05	39.08	47.61
0.3	37.05	118.575	58.62	71.415
0.4	49.4	158.1	78.16	95.22
0.5	60.7	163.2	97.7	107.2
0.6	69.5	172.1	109.1	116.9
0.7	76.3	190.6	124.8	130.57
0.8	83.2	208.4	142.3	144.63
0.9	84.8	220.1	151.5	152.13
1	85.7	234.8	159.4	159.97
1.1	87	250.4	165.6	167.67
1.2	91.4	256.8	172.2	173.47
1.3	95.3	258.7	176.5	176.83
1.4	101	257.9	186.2	181.70
1.5	104.9	256.5	191.2	184.20
1.6	112.8	250.1	197.4	186.77
1.7	119.2	242.5	201.3	187.67
1.8	127.3	239.6	206.7	191.20
1.9	129.8	235.5	209.3	191.53
2	130.3	230.8	208.6	189.90
2.1	141.4	229.8	204.3	191.83
2.2	148.9	224.6	201.2	191.57
2.3	155.5	221.4	198.4	191.77
2.4	158	218.1	194.7	190.27
2.5	161	214.3	187.9	187.73
2.6	164.3	209.3	181.2	184.93
2.7	165.9	204.5	177.3	182.57
2.8	171.5	198.5	174.8	181.60
2.9	172.7	193.1	173.6	179.80
3	173.6	186.1	171.9	177.20
3.1	179.5	182.8	168.7	177.00
3.2	181.9	176.5	168.6	175.67
3.3	185.8	173.8	168.5	176.03
3.4	188.4	169	167.3	174.90
3.5	190.4	164.4	166	173.60
3.6	194.9	159.8	165.5	173.40
3.7	198.1	154.8	162.6	171.83

Defleksi	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
3.8	198.9	150.9	161	170.27
3.9	203	146.2	159.6	169.60
4	204.1	142.3	159.5	168.63
4.1	205.1	138.8	159.4	167.77
4.2	206.3	136.6	155.8	166.23
4.3	207.8	133.3	155	165.37
4.4	207.6	131.5	154.5	164.53
4.5	207.6	128.8	151	162.47
4.6	207.6	121.3	149.7	159.53

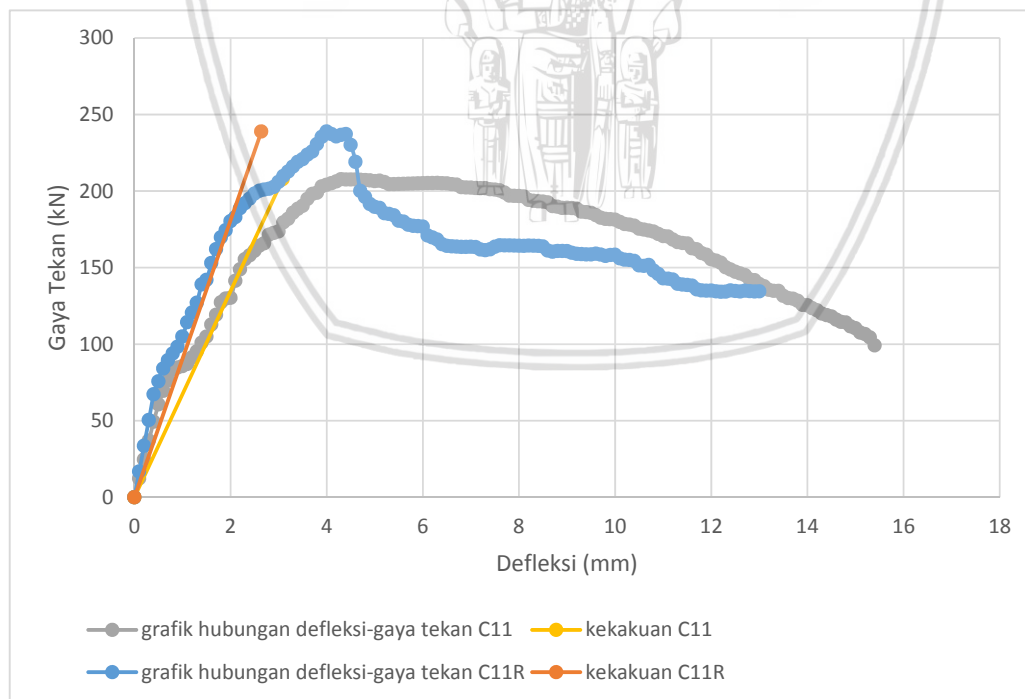
Tabel 4.14. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit C.1

Defleksi	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0.00
0.1	16.82	11.2	16.4	14.80
0.2	33.64	22.4	32.8	29.60
0.3	50.46	33.6	42.3	42.10
0.4	67.28	44.7	47.9	53.30
0.5	75.7	55.9	57.6	63.07
0.6	84.1	67.1	67.6	72.93
0.7	89.5	74.4	84.2	82.70
0.8	93.9	79.5	100.2	91.20
0.9	98.3	86.4	130.5	105.07
1	105	95.7	150.6	117.10
1.1	114.4	108.4	165.2	129.33
1.2	120.7	117.1	184	140.60
1.3	127	129.7	194.5	150.40
1.4	139	148.2	203.5	163.57
1.5	142	169.8	209.1	173.63
1.6	153	180.7	212.9	182.20
1.7	162	191.2	221	191.40
1.8	169.8	196.2	223.3	196.43
1.9	174.4	196.5	225.8	198.90
2	180.3	196.1	225.6	200.67
2.1	183	197.3	226.2	202.17
2.2	188.8	198.5	230.3	205.87
2.3	192	200.8	230.9	207.90
2.4	195.1	203.3	231.4	209.93
2.5	198.3	204.7	234.3	212.43

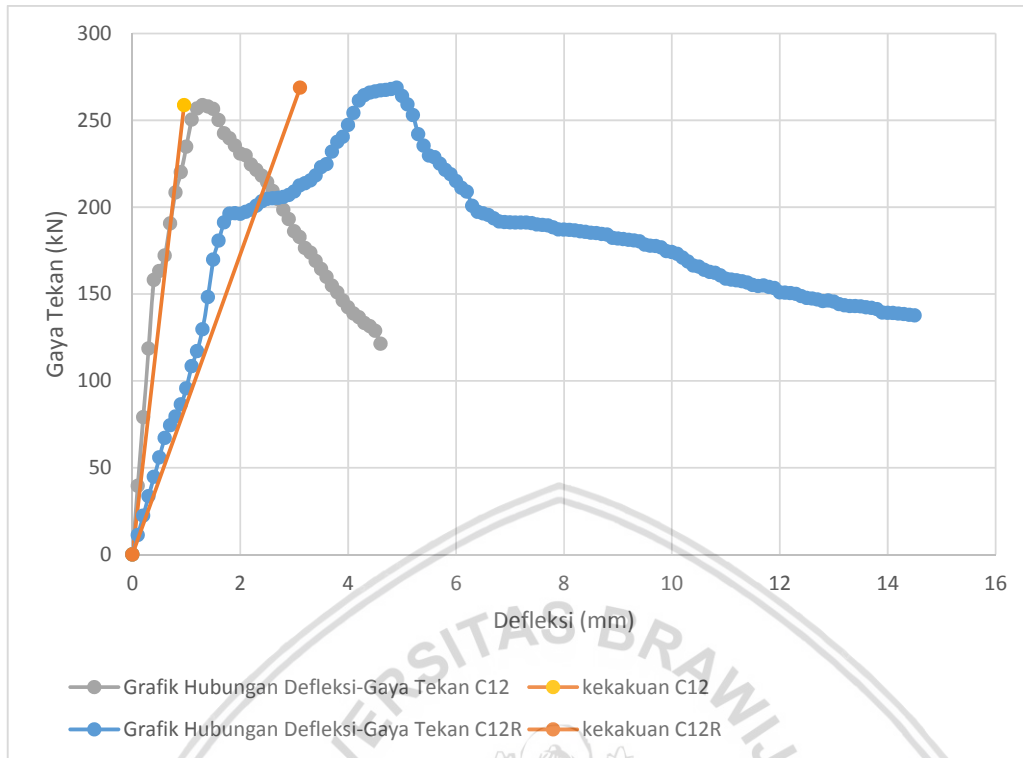
Defleksi	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
2.6	200.2	205.1	235.7	213.67
2.7	201	205.3	238.7	215.00
2.8	201.5	205.8	238.7	215.33
2.9	202.6	207	238.6	216.07
3	206	209	238.4	217.80
3.1	209.8	212.4	238.9	220.37
3.2	212.8	213.7	238.4	221.63
3.3	216	215.4	238.4	223.27
3.4	219.1	218.2	238.2	225.17
3.5	220.8	223	237.8	227.20
3.6	223.8	224.7	235.1	227.87
3.7	225.8	231.9	233.4	230.37
3.8	230.7	237.6	231.4	233.23
3.9	235.4	240.5	231.4	235.77
4	238.9	247.3	230.9	239.03
4.1	237.2	254.2	227.2	239.53
4.2	235.7	261.3	226.2	241.07
4.3	236.7	264.4	225	242.03
4.4	237.2	265.9	224	242.37
4.5	230.2	266.6	223.1	239.97
4.6	219.1	267.2	221.4	235.90
4.7	200.1	267.5	220.5	229.37
4.8	196.2	268	215.8	226.67
4.9	191.5	268.8	215.5	225.27
5	189.7	264	213.5	222.40
5.1	189	259.1	212.3	220.13
5.2	185.5	253	212	216.83
5.3	185	242	211.4	212.80
5.4	184.2	235.4	210.4	210.00
5.5	180.6	229.7	210.1	206.80
5.6	180	228.7	209.9	206.20
5.7	178	225	209.7	204.23
5.8	177.3	221.4	209.3	202.67
5.9	177.1	218.9	208.9	201.63
6	176.8	215	206.9	199.57
6.1	171	211.1	205.5	195.87
6.2	169.7	208.9	204	194.20
6.3	168.3	200.7	204	191.00
6.4	165.3	197.3	201.2	187.93
6.5	164.2	196.35	200.5	187.02
6.6	163.9	195.4	200.1	186.47
6.7	163.7	193.55	199.8	185.68

Defleksi	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
6.8	163.5	191.7	199.3	184.83
6.9	163.5	191.4	199	184.63
7	163.6	191.2	197.3	184.03
7.1	163.4	191.1	197.3	183.93
7.2	161.8	191.1	195.6	182.83
7.3	161.4	191.1	195	182.50
7.4	161.9	190.8	194.6	182.43
7.5	163.6	190	191.5	181.70
7.6	164.6	189.7	190.9	181.73
7.7	164.5	189.5	190.4	181.47
7.8	164.5	188.3	190	180.93
7.9	164.4	187.1	187.6	179.70
8	164.3	187	186.7	179.33
8.1	164.2	186.9	186.2	179.10
8.2	164.4	186.6	186.24	179.08
8.3	164.3	186.1	185.9	178.77
8.4	164.2	185.7	183.9	177.93
8.5	163.8	185.2	183.2	177.40
8.6	161.2	185	182.8	176.33
8.7	160.4	184.5	182.6	175.83
8.8	160.9	184.2	182.2	175.77
8.9	160.9	182.3	178.7	173.97
9	160.8	181.9	177.8	173.50
9.1	159.7	181.6	177.1	172.80
9.2	159	181.1	176.1	172.07
9.3	158.8	180.8	174.1	171.23
9.4	158.6	180.3	173.8	170.90
9.5	158.6	178.4	173.6	170.20
9.6	159.1	177.8	173	169.97
9.7	158.5	177.6	172.7	169.60
9.8	157.6	176.8	172.5	168.97
9.9	158.2	174.6	172.3	168.37
10	158.4	174.1	171.3	167.93
10.1	156	173.1	169.7	166.27
10.2	155.2	170.9	169.4	165.17
10.3	155	168.7	169.4	164.37
10.4	154.4	166.3	166.2	162.30
10.5	151.4	165.7	166.2	161.10
10.6	151.1	163.9	165.2	160.07
10.7	151.7	162.7	164.8	159.73
10.8	148.1	162.2	163.1	157.80
10.9	145.8	160.7	162.8	156.43
11	143	158.8	162.5	154.77

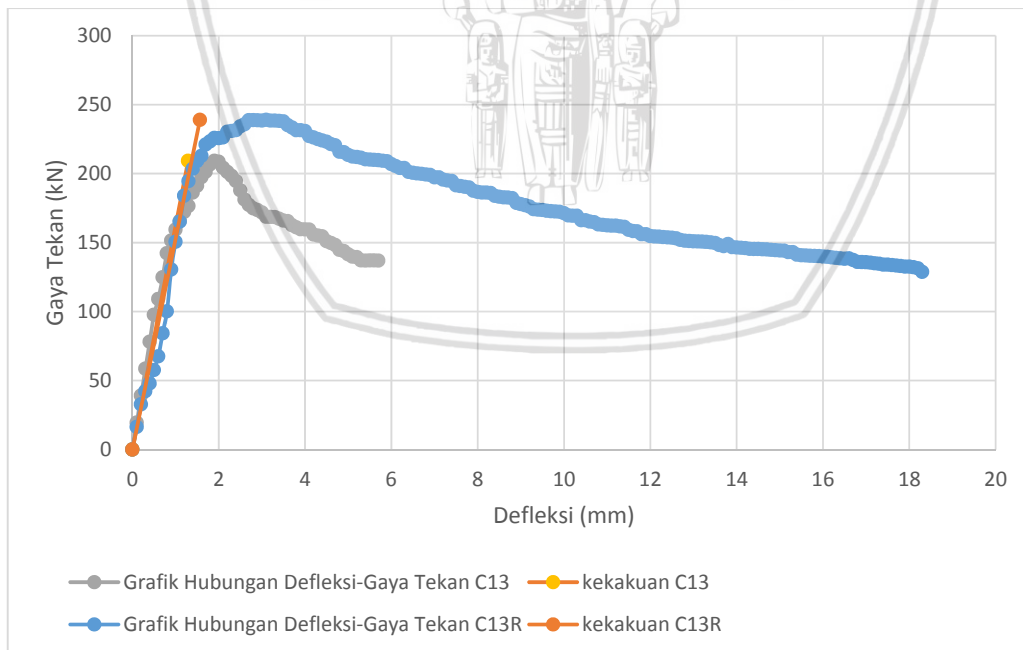
Defleksi	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
11.1	142.8	158.3	162.3	154.47
11.2	142.2	157.8	162.2	154.07
11.3	139.4	157.3	161.7	152.80
11.4	138.9	156.5	161.4	152.27
11.5	138.6	155.1	159.2	150.97
11.6	138.2	154.5	158.3	150.33
11.7	135.8	154.9	158.1	149.60
11.8	135.1	154	156	148.37
11.9	134.9	153.4	156	148.10
12	135	150.9	154.7	146.87
12.1	134.5	150.7	154.4	146.53
12.2	134.2	150.5	154.3	146.33
12.3	134.3	150	154	146.10
12.4	135.1	148.7	153.7	145.83
12.5	134.7	147.7	153.5	145.30
12.6	134.4	147.3	153.1	144.93
12.7	134.9	146.8	151.9	144.53
12.8	134.6	145.9	151.3	143.93
12.9	134.4	146.2	151.1	143.90
13	134.5	145.6	150.9	143.67



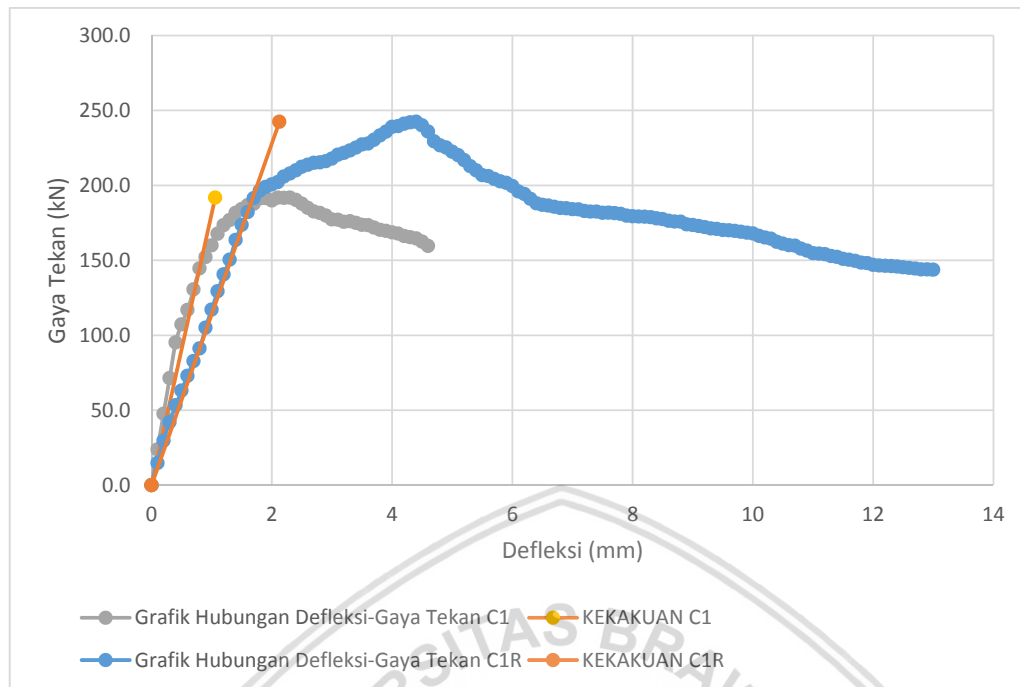
Gambar 4.6. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.1 dengan kolom retrofit C.1.1



Gambar 4.7. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.2 dengan kolom retrofit C.1.2



Gambar 4.8. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.3 dengan kolom retrofit C.1.3



Gambar 4.9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1 dengan kolom retrofit C.1

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli C.1 dan kolom retrofit C.1 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit C.1.1, C.1.2 dan C.1.3. Dimana pengambilan nilai rata-rata gabungan diperoleh dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Dapat disimpulkan, pada kolom retrofit C.1 terjadi peningkatan batas runtuh kolom asli C.1 dengan beban maksimum yang semula sebesar 191.8 kN. Namun beban maksimum kolom retrofit C.1 memiliki beban puncak sebesar 242.4 kN, atau bila dipresentasikan meningkat sebesar 26.38 %.

Dari analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah dijelaskan sebelumnya. Bahwa kolom asli C.1 memiliki nilai kekakuan sebesar 181.1 kN/mm, dan kolom retrofit C.1 memiliki nilai kekakuan 114 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom asli C.1 lebih kaku jika dibandingkan kolom retrofit C.1, dimana kekakuan mengalami penurunan sebesar 37.06 %. Hal ini bisa terjadi karena ada satu data yang nilainya berbeda dari dua data kolom retrofit C.1 yaitu C.1.2, yang berakibat pada hasil rata-rata dari kolom retrofit C.1.

4.6.1.1 Kolom Asli C.2 – Kolom Retrofit C.2

Tabel 4.15. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2

Defleksi	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0.00
0.1	24.5	34.1	14.2	24.27
0.2	49.1	102.3	28.4	59.90
0.3	73.6	136.4	42.5	84.17
0.4	98.1	170.5	56.7	108.44
0.5	107.8	175.2	70.9	117.96
0.6	120.6	175.6	85.1	127.09
0.7	130.4	174.4	99.2	134.68
0.8	133	173.8	113.4	140.07
0.9	139.8	172.1	127.6	146.50
1	146.4	172.5	128.3	149.07
1.1	160.5	172.7	132.6	155.27
1.2	166.8	172.9	134.7	158.13
1.3	177	172.9	135.2	161.70
1.4	180.9	173	135.2	163.03
1.5	188.3	173.1	135.2	165.53
1.6	192.1	173.2	135.5	166.93
1.7	193.7	173.5	137.2	168.13
1.8	193.6	173.6	142.9	170.03
1.9	193.6	173.9	143.9	170.47
2	194.2	174.1	145.3	171.20
2.1	195.1	174.2	154.3	174.53
2.2	194.2	174.2	155.5	174.63
2.3	193.9	174.1	164.6	177.53
2.4	190.8	173.8	168.8	177.80
2.5	190.3	173.5	172.6	178.80
2.6	189.9	171.8	178.6	180.10
2.7	189.5	171	185.9	182.13
2.8	186.2	170.8	191.1	182.70
2.9	185.6	170.7	194.7	183.67
3	184.9	170.5	195.8	183.73
3.1	181.5	170	199.2	183.57
3.2	180.2	169.7	200.7	183.53
3.3	177.4	167.6	204.2	183.07
3.4	177.4	167.1	209	184.50
3.5	176.8	166.7	203.5	182.33
3.6	175.9	166.3	201.6	181.27
3.7	175.2	163.8	201.5	180.17

Defleksi	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
3.8	172.3	162.7	201.6	178.87
3.9	171.7	162	201.4	178.37
4	171.2	161.7	201.1	178.00
4.1	169.6	161.5	197.5	176.20
4.2	168.8	161.4	196.7	175.63
4.3	168.6	161.4	195.7	175.23
4.4	168.6	161.6	193.8	174.67
4.5	168.6	161.6	193	174.40
4.6	168.5	161.7	192.7	174.30
4.7	168.3	161.8	192.7	174.27
4.8	168.1	161.7	192.7	174.17
4.9	167.9	161.6	192.5	174.00
5	167.1	161.5	192.2	173.60
5.1	165.3	161	190.9	172.40
5.2	165.1	160.6	189.1	171.60
5.3	164.9	158.1	188.7	170.57
5.4	164.8	157.5	188.9	170.40
5.5	164.8	157.1	188.2	170.03
5.6	164.6	156.9	187.9	169.80
5.7	164.3	156.6	186.8	169.23
5.8	164	155	186.8	168.60
5.9	163.7	154.1	186.9	168.23
6	161.6	153.7	186.9	167.40
6.1	161.5	153.5	186.9	167.30
6.2	161.4	153.4	186.5	167.10
6.3	161	153.2	186.4	166.87
6.4	158.7	153	186.3	166.00
6.5	157.8	152.9	185.8	165.50
6.6	157.3	152.7	184.6	164.87
6.7	156.7	152.5	182.7	163.97
6.8	155.5	152.3	182.4	163.40
6.9	155	152	182.3	163.10
7	154.9	151.8	182.2	162.97
7.1	154.9	149.4	182	162.10
7.2	154.6	148.3	181.7	161.53
7.3	154	147.7	179.7	160.47
7.4	151.8	147.3	179.7	159.60
7.5	151.3	147	179.7	159.33
7.6	150.7	145.4	179.7	158.60
7.7	150.6	144.3	178.5	157.80
7.8	150.3	143.8	178.5	157.53
7.9	149.9	143.2	176	156.37
8	149.6	142.9	175.6	156.03

Defleksi	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
8.1	146.2	141.9	175.2	154.43
8.2	145.7	140.6	175.2	153.83
8.3	145.9	140.2	174.9	153.67
8.4	145.1	139.8	174.9	153.27
8.5	142.2	139.6	174.8	152.20
8.6	141	139.4	174.6	151.67
8.7	140.8	139.1	174.4	151.43
8.8	140.6	138.9	174.1	151.20
8.9	140.3	138.5	172.5	150.43
9	140.2	136.2	171.6	149.33
9.1	139.9	135.3	171	148.73
9.2	138.1	135.3	170.6	148.00
9.3	137.1	134.6	170	147.23
9.4	136.2	133	167.8	145.67
9.5	135.6	131.8	166.6	144.67
9.6	135.1	131.2	166	144.10
9.7	133.1	130.8	165.9	143.27
9.8	132.3	130.3	165.9	142.83
9.9	131.8	130.2	165.9	142.63
10	131.7	130	165.9	142.53
10.1	131.5	129.8	165.9	142.40
10.2	130.3	129.6	165.7	141.87
10.3	128.3	129.4	165.4	141.03
10.4	128.2	129.2	165.2	140.87
10.5	128.3	128.7	165	140.67
10.6	128	128.4	164.7	140.37
10.7	128.8	128.1	163.4	140.10
10.8	126	126.6	162.8	138.47
10.9	125.9	126	162.8	138.23
11	125.7	125.9	161.9	137.83
11.1	125.1	125.7	161.6	137.47
11.2	122.5	125.5	161.1	136.37
11.3	122.3	125.2	159.8	135.77
11.4	122.3	124.9	159.8	135.67
11.5	122.1	124.7	159.8	135.53
11.6	121.4	124.3	159.8	135.17
11.7	119.5	124.1	159.8	134.47
11.8	119.4	123.9	159.7	134.33
11.9	119.4	123.7	159.5	134.20
12	118.8	123.6	159.4	133.93
12.1	116.2	123.4	159	132.87
12.2	115.7	122.5	158.7	132.30
12.3	115.5	121.7	157.6	131.60

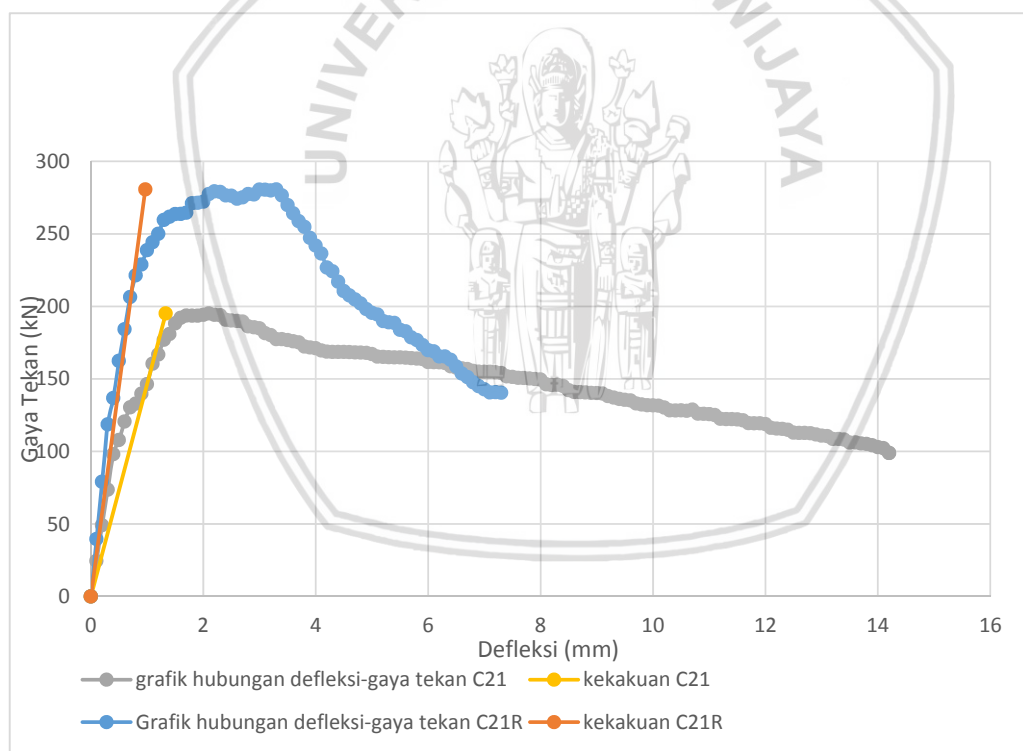
Defleksi	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
12.4	114.9	121.6	156.5	131.00
12.5	112.9	121.5	156.1	130.17
12.6	112.7	121.4	155.9	130.00
12.7	112.7	121.3	155.5	129.83
12.8	112.5	120.9	155.3	129.57
12.9	111.7	120.6	155	129.10
13	110.8	120.4	154.8	128.67
13.1	110.5	120	154.6	128.37
13.2	108.6	118.8	154.5	127.30
13.3	108.6	118.1	154.4	127.03
13.4	108.2	117.8	154.4	126.80
13.5	106.1	117.7	154.3	126.03
13.6	106.2	117.2	154.1	125.83
13.7	105.4	117	153.8	125.40
13.8	105.1	116.8	153.6	125.17
13.9	104.2	116.6	153.4	124.73
14	103	116.4	153.1	124.17
14.1	102.2	116.3	153.1	123.87
14.2	98.9	116.1	152.9	122.63
14.3	98.9	115.9	152.4	122.40

Tabel 4.16. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit C.2

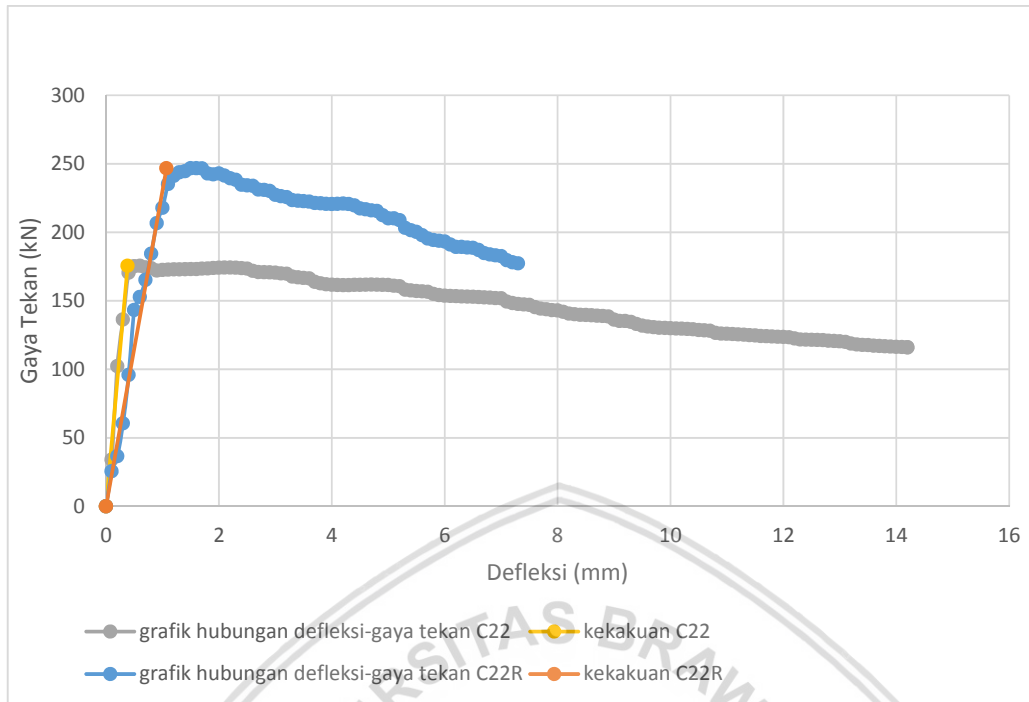
Defleksi	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0.00
0.1	39.5	25.6	12.5	25.89
0.2	79.1	36.6	25.1	46.91
0.3	118.6	60.5	37.6	72.23
0.4	136.8	95.9	46	92.90
0.5	162.4	143.3	55.5	120.40
0.6	184.2	152.8	68.2	135.07
0.7	206.5	165.2	88.5	153.40
0.8	221.4	184.4	107	170.93
0.9	228.9	206.7	134.4	190.00
1	238.7	217.9	156.8	204.47
1.1	244.2	235.2	179.3	219.57
1.2	250.1	241.1	197.6	229.60
1.3	259.6	243.8	208.3	237.23
1.4	261.8	244.6	214.5	240.30
1.5	263.7	246.8	220.9	243.80

Defleksi	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
1.6	263.8	246.8	226.8	245.80
1.7	264.6	246.6	231.4	247.53
1.8	271.1	242.9	237.9	250.63
1.9	271.4	242.2	239.3	250.97
2	272.2	242.9	243.5	252.87
2.1	277.5	241.4	244.3	254.40
2.2	279.3	239.4	245.1	254.60
2.3	278.9	238.3	245.3	254.17
2.4	276.5	234.7	247.5	252.90
2.5	276.3	234.2	248.4	252.97
2.6	274.2	233.9	249	252.37
2.7	275.2	231.2	249.5	251.97
2.8	277.5	230.9	253.6	254.00
2.9	277.2	230.2	255.2	254.20
3	280.6	227.3	255.6	254.50
3.1	280.5	226.3	259.6	255.47
3.2	280	225.7	260.7	255.47
3.3	280.7	223.5	260.9	255.03
3.4	276.5	223	262	253.83
3.5	269.9	222.7	264.3	252.30
3.6	264.2	222.4	264.9	250.50
3.7	258.8	221.4	266.9	249.03
3.8	254.8	221.1	267.2	247.70
3.9	247.3	220.7	267.7	245.23
4	242	220.6	268.4	243.67
4.1	236.5	220.7	269.4	242.20
4.2	226.8	220.9	268.9	238.87
4.3	224.2	220.6	268.8	237.87
4.4	217	219.6	268.8	235.13
4.5	210.6	217.4	268.7	232.23
4.6	207.6	216.8	268.2	230.87
4.7	204.8	216	267.8	229.53
4.8	202	215.6	267.4	228.33
4.9	198.1	212.5	262.4	224.33
5	195.6	210.2	259.6	221.80
5.1	194.4	210.2	259.3	221.30
5.2	189.8	208.9	259.4	219.37
5.3	189	203.3	259.7	217.33
5.4	188.6	201.5	260	216.70
5.5	183.8	200.3	262.3	215.47
5.6	182.8	197.9	263	214.57
5.7	178.6	195.4	263.5	212.50
5.8	176.8	194.4	263.5	211.57

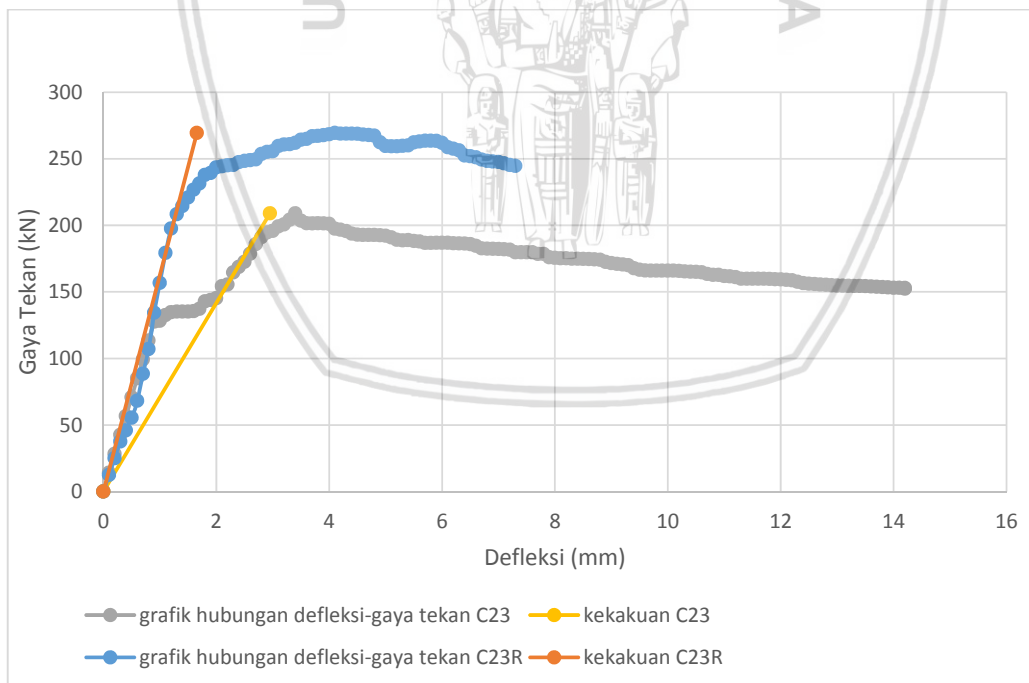
Defleksi	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
5.9	173.3	193.8	263.4	210.17
6	169.8	193.3	261.9	208.33
6.1	169	191.1	258.7	206.27
6.2	165.4	189.3	257.6	204.10
6.3	165.4	189.3	256.3	203.67
6.4	163.2	188.9	252.5	201.53
6.5	158.6	188.6	251.9	199.70
6.6	153.7	187.1	251.1	197.30
6.7	151.2	184.8	249.4	195.13
6.8	147.7	183.8	248.4	193.30
6.9	145	183.1	247.9	192.00
7	142.8	182.6	247.6	191.00
7.1	140.6	179.6	246.6	188.93
7.2	140.9	178.1	245.3	188.10
7.3	140.4	177.3	244.7	187.47



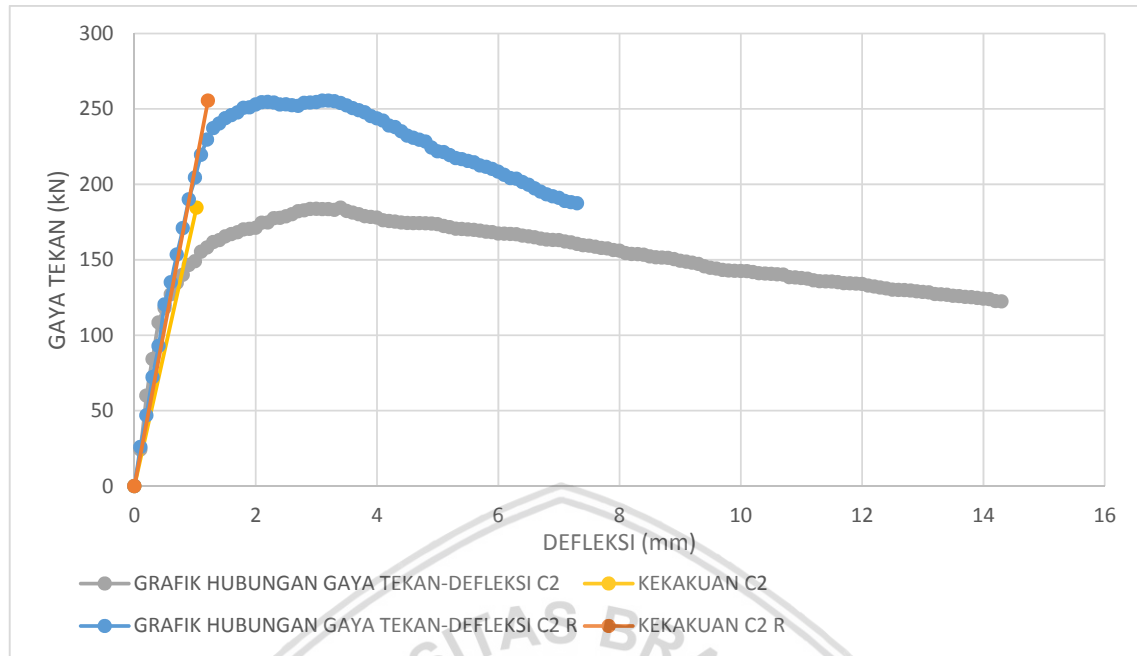
Gambar 4.10. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.1 dengan kolom retrofit C.2.1



Gambar 4.11. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.2 dengan kolom retrofit C.2.2



Gambar 4.12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2.3 dengan kolom retrofit C.2.3



Gambar 4.13. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.2 dengan kolom retrofit C.2

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli C.2 dan kolom retrofit C.2 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit C.2.1, C.2.2 dan C.2.3. Dimana pengambilan nilai rata-rata gabungan diperoleh dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Dapat disimpulkan, pada kolom retrofit C.2 terjadi peningkatan batas runtuh kolom asli C.2 dengan beban maksimum yang semula sebesar 184.5 kN. Namun beban maksimum kolom retrofit C.2 memiliki beban puncak sebesar 255.5 kN, atau bila dipresentasikan meningkat sebesar 38.48 %.

Dari analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah dijelaskan sebelumnya. Bahwa kolom asli C.2 memiliki nilai kekakuan sebesar 180.1 kN/mm, dan kolom retrofit C.2 memiliki nilai kekakuan 210.3 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom asli C.2 tidak lebih kaku jika dibandingkan kolom retrofit C.2, dimana kekakuan mengalami peningkatan sebesar 16.79%.

4.6.1.3 Kolom Asli D.1 – Kolom Retrofit D.1

Tabel 4.17. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1

Defleksi mm	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN
0	0	0	0	0.0
0.1	12.4	7.7	12.18	10.8
0.2	24.8	15.4	24.36	21.5
0.3	37.2	23.1	36.54	32.3
0.4	49.6	30.8	48.72	43.0
0.5	62	38.2	60.9	53.7
0.6	74.4	46.4	73.08	64.6
0.7	86.8	56	85.26	76.0
0.8	99.2	64.7	97.44	87.1
0.9	111.6	73.7	109.62	98.3
1	124	81.4	121.8	109.1
1.1	136.4	91.1	133.98	120.5
1.2	154.6	101.7	146.16	134.2
1.3	162.4	113.9	158.34	144.9
1.4	164.9	126.5	170.52	154.0
1.5	168.1	135.6	182.7	162.1
1.6	172.5	145.4	187	168.3
1.7	176.8	155.5	191.9	174.7
1.8	177.9	164.8	192.9	178.5
1.9	178.8	172.7	192.9	181.5
2	179.2	174.1	192.7	182.0
2.1	182.9	175.4	185.3	181.2
2.2	184.2	176.2	182.3	180.9
2.3	185.4	176.8	180.1	180.8
2.4	185.9	176.4	176.6	179.6
2.5	186.2	173.3	176.1	178.5
2.6	186.4	172.1	177	178.5
2.7	186.9	151.4	177.5	171.9
2.8	187.1	141.9	181	170.0
2.9	187.3	137.5	181.2	168.7
3	187.8	133.9	181.3	167.7
3.1	191.2	132.9	181.3	168.5
3.2	191.8	129.6	181	167.5
3.3	192.2	126.8	180.8	166.6
3.4	194.8	126.1	180.3	167.1
3.5	195.4	122.6	178.3	165.4
3.6	197.5	121	178	165.5

Defleksi	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
3.7	198.2	120.4	177.5	165.4
3.8	198.4	117.4	177.4	164.4
3.9	198.8	116.2	177.7	164.2
4	198.9	113.7	177.8	163.5
4.1	198.6	113.3	178	163.3
4.2	198	112.5	177.9	162.8
4.3	197.3	110.1	177.7	161.7
4.4	195.1	109.6	178	160.9
4.5	194.7	106.8	178.4	160.0
4.6	194.1	106.3	178.5	159.6
4.7	193.1	103.9	178.3	158.4
4.8	191.8	102.8	178.3	157.6
4.9	190.8	101.7	178.5	157.0
5	190.3	100.9	178.6	156.6
5.1	190.3	97.7	178.3	155.4
5.2	188	97.2	177.4	154.2
5.3	187.2	96.5	176.4	153.4
5.4	186.7	94.2	176.3	152.4
5.5	186.1	94	176.2	152.1
5.6	184.7	93.7	173.6	150.7
5.7	184.2	92.9	172.8	150.0
5.8	183	91.9	172.4	149.1
5.9	182.4	90.9	172.3	148.5

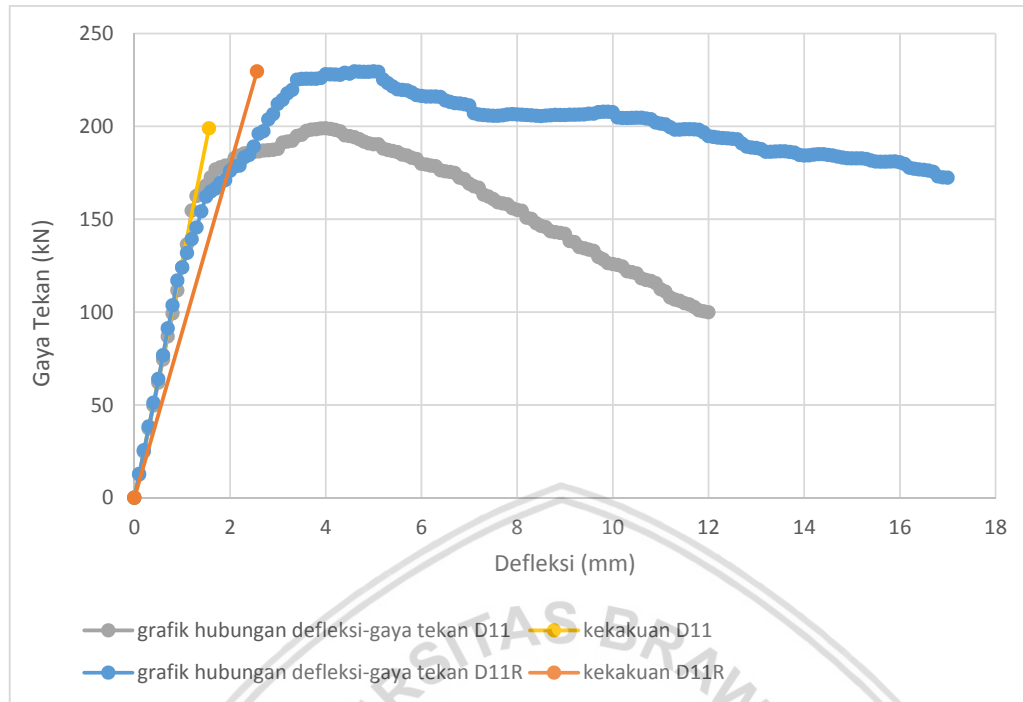
Tabel 4.18. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit D.1

Defleksi	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0.0
0.1	12.8	10.6	9.1	10.8
0.2	25.6	21.2	18.3	21.7
0.3	38.4	31.8	27.4	32.5
0.4	51.2	49.2	36.6	45.7
0.5	64	64.9	45.7	58.2
0.6	76.8	84.5	53.5	71.6
0.7	91.2	118.2	56.0	88.5
0.8	103.6	144.9	87.8	112.1
0.9	117	180.3	83.8	127.0
1	124	228.2	100.4	150.9

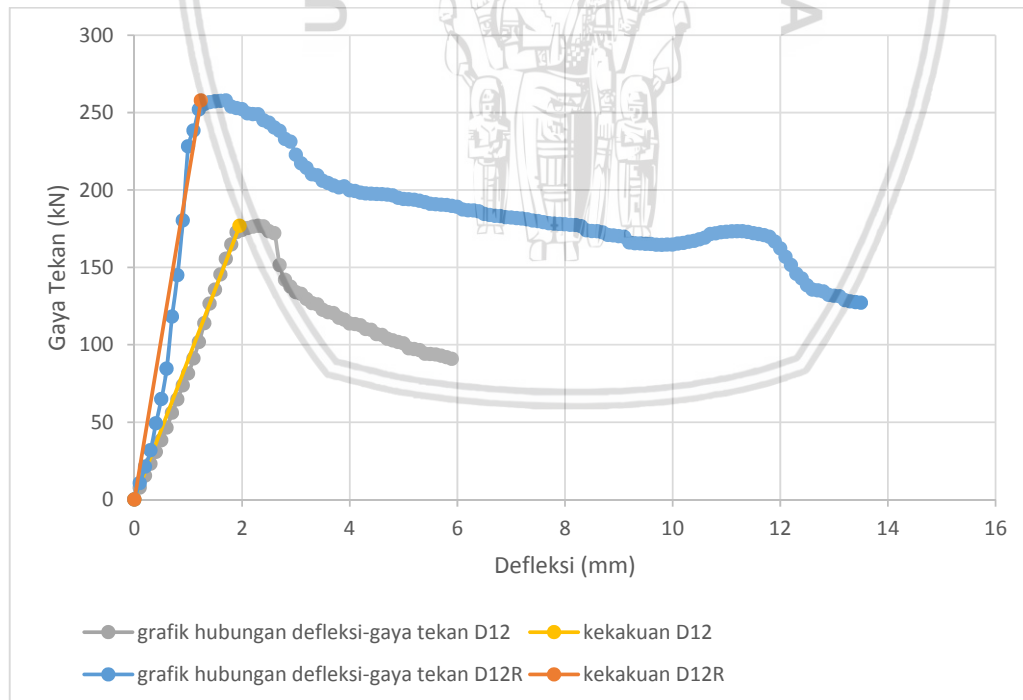
Defleksi	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
1.1	131.8	238.4	119.5	163.2
1.2	139.2	252	144.6	178.6
1.3	145.5	255.5	178.0	193.0
1.4	154.2	256.7	181.6	197.5
1.5	162.1	257.2	200.6	206.6
1.6	164.9	257.5	209.6	210.7
1.7	166.5	257.8	217.3	213.9
1.8	169.6	253.8	226.0	216.5
1.9	171	252.9	226.9	216.9
2	176	252.2	242.0	223.4
2.1	178.3	249.5	247.7	225.2
2.2	178.8	249	251.7	226.5
2.3	183.3	248.9	257.1	229.8
2.4	184.6	245	260.3	230.0
2.5	189.1	243.4	263.1	231.9
2.6	196	240.3	264.3	233.5
2.7	197.4	238.2	268.0	234.5
2.8	203.7	232.9	270.3	235.6
2.9	206.5	231.2	271.0	236.2
3	212	222.7	271.3	235.3
3.1	214.2	217.2	271.6	234.3
3.2	217.7	214.3	271.9	234.6
3.3	219.6	210.1	272.1	233.9
3.4	225.1	209.4	272.0	235.5
3.5	225.5	205.9	271.8	234.4
3.6	225.6	204.4	271.2	233.7
3.7	225.6	202.9	271.0	233.2
3.8	225.6	201.6	267.6	231.6
3.9	226	202.3	267.0	231.8
4	228	199.8	266.8	231.5
4.1	227.9	199.3	264.3	230.5
4.2	227.8	198.2	262.7	229.6
4.3	227.7	197.7	262.3	229.2
4.4	228.8	197.5	261.4	229.2
4.5	228.3	197.3	258.2	227.9
4.6	229.5	197.2	257.4	228.0
4.7	229.4	197	256.9	227.8
4.8	229.3	196.5	256.5	227.4
4.9	229.3	194.9	254.4	226.2
5	229.5	194.1	253.5	225.7
5.1	229.3	193.9	252.0	225.1
5.2	225.2	193.6	251.6	223.5

Defleksi	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
5.3	223.2	193	251.3	222.5
5.4	221.4	192.1	250.7	221.4
5.5	219.9	191	249.3	220.1
5.6	219.6	190.7	248.8	219.7
5.7	219.3	190.4	248.6	219.4
5.8	218.2	190.2	248.3	218.9
5.9	216.7	189.7	246.5	217.6
6	216.3	189.1	245.9	217.1
6.1	216	187.3	245.1	216.1
6.2	216	186.8	244.8	215.9
6.3	216	186.7	245.0	215.9
6.4	215.8	186.2	242.4	214.8
6.5	213.9	184.5	242.0	213.5
6.6	213.1	183.8	241.8	212.9
6.7	212.4	183.2	241.6	212.4
6.8	212.3	183	241.1	212.1
6.9	211.9	182.4	238.9	211.1
7	211.2	182.2	238.6	210.7
7.1	207	181.8	238.4	209.1
7.2	206.3	181.5	238.2	208.7
7.3	206	181	237.6	208.2
7.4	205.8	180.2	237.8	207.9
7.5	205.6	179.8	237.5	207.6
7.6	205.6	179.2	235.7	206.8
7.7	205.9	178.5	235.0	206.5
7.8	206.4	178.2	234.8	206.5
7.9	206.5	178	234.4	206.3
8	206.4	177.8	234.1	206.1
8.1	206.2	177.4	233.4	205.7
8.2	206	177.3	232.0	205.1
8.3	205.9	176.5	231.6	204.7
8.4	205.6	173.9	231.2	203.6
8.5	205.5	173.4	231.0	203.3
8.6	205.7	173.3	230.8	203.3
8.7	205.9	172.5	229.4	202.6
8.8	206.1	170.9	228.6	201.9
8.9	206	170.6	228.3	201.6
9	206	170.1	228.1	201.4
9.1	206.2	169.7	227.7	201.2
9.2	206.2	166	227.5	199.9
9.3	206.3	165.5	227.2	199.7
9.4	206.4	165.4	225.3	199.0

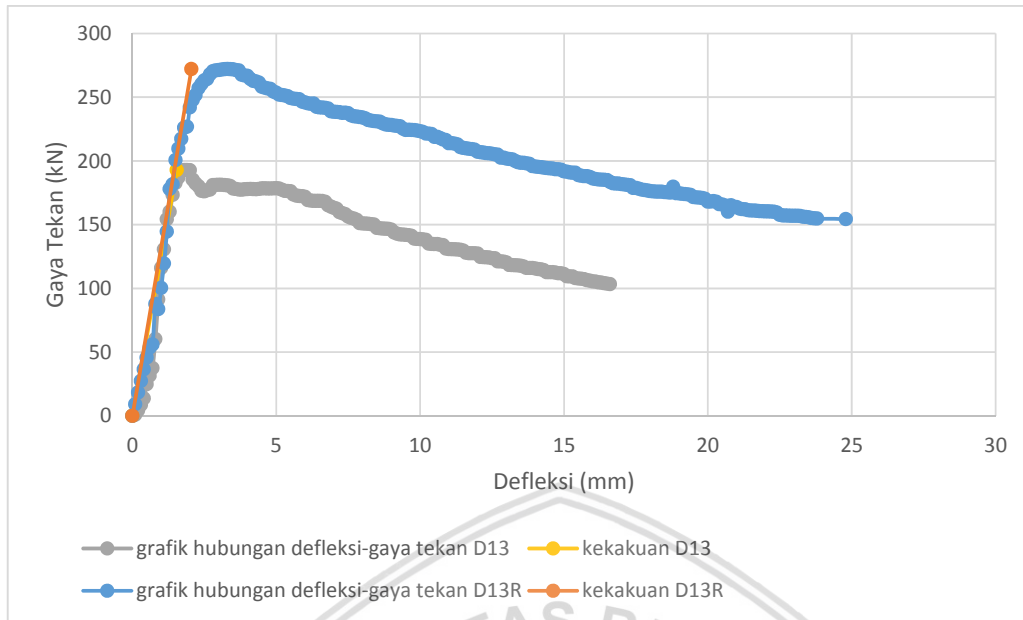
Defleksi	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
9.5	206.8	165.2	224.3	198.8
9.6	206.8	165.1	224.4	198.8
9.7	207.6	164.6	224.2	198.8
9.8	207.8	164.5	224.1	198.8
9.9	207.8	164.7	223.8	198.8
10	207.6	164.7	223.3	198.5
10.1	204.7	165.3	222.7	197.6
10.2	204.4	165.7	221.4	197.2
10.3	204.4	166.5	221.4	197.4
10.4	204.5	167.1	221.1	197.6
10.5	204.6	168.1	218.8	197.2
10.6	204.6	169.1	218.8	197.5
10.7	204.2	171.5	217.9	197.9
10.8	203.8	172	216.8	197.5
10.9	202	172.6	216.3	197.0
11	201.4	172.9	213.9	196.1
11.1	201	173.2	213.9	196.0
11.2	199.5	173.3	213.5	195.4
11.3	198.2	173.3	212.9	194.8
11.4	198.2	172.8	210.8	193.9
11.5	198.4	172.1	210.2	193.6
11.6	198.4	171.5	209.9	193.3
11.7	198.3	170.8	209.5	192.9
11.8	198.1	169.7	209.3	192.4
11.9	196.7	166.6	208.8	190.7
12	194.7	162.2	207.1	188.0
12.1	194.3	156.8	206.8	186.0
12.2	193.9	151.5	206.5	184.0
12.3	193.6	145.8	206.1	181.8
12.4	193.5	142.8	205.9	180.7
12.5	193.2	138.4	205.6	179.1
12.6	193	135.6	205.1	177.9
12.7	190.7	135.1	204.9	176.9
12.8	189	134.4	202.5	175.3
12.9	188.5	132.2	202.5	174.4
13	188.3	131.6	201.8	173.9
13.1	187.7	131.3	201.5	173.5
13.2	186.3	128.8	201.2	172.1
13.3	186.3	128	200.0	171.4
13.4	186.4	127.5	199.0	171.0
13.5	186.5	127.1	198.5	170.7



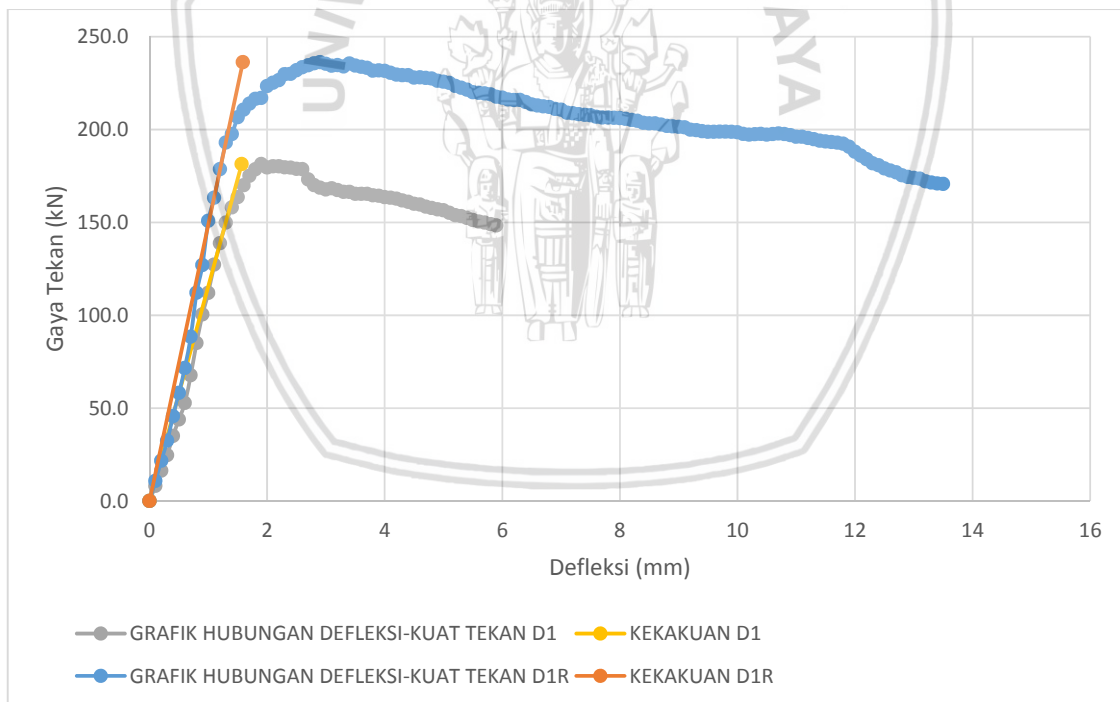
Gambar 4.14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.1 dengan kolom retrofit D.1.1



Gambar 4.15. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.2 dengan kolom retrofit D.1.2



Gambar 4.16. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.3 dengan kolom retrofit D.1.3



Gambar 4.17. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli D.1 dan kolom retrofit D.1 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit D.1.1,

D.1.2 dan D.1.3. Dimana pengambilan nilai rata-rata gabungan diperoleh dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Dapat disimpulkan, pada kolom retrofit D.1 terjadi peningkatan batas runtuh kolom asli D.1 dengan beban maksimum yang semula sebesar 181.4 kN. Namun beban maksimum kolom retrofit D.1 memiliki beban puncak sebesar 236.2 kN, atau bila dipresentasikan meningkat sebesar 30.21 %.

Dari analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah dijelaskan sebelumnya. Bahwa kolom asli D.1 memiliki nilai kekakuan sebesar 115.67 kN/mm, dan kolom retrofit D.1 memiliki nilai kekakuan 148.8 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom asli D.1 tidak lebih kaku jika dibandingkan kolom retrofit D.1, dimana kekakuan mengalami peningkatan sebesar 28.64%.

4.6.1.4 Kolom Asli D.2 – Kolom Retrofit D.2

Tabel 4.19. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2

Defleksi	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0.0
0.1	4.6	7.1	154.4	55.4
0.2	9.1	14.3	167.6	63.7
0.3	13.7	21.4	176.2	70.4
0.4	18.3	28.5	182.2	76.3
0.5	22.9	35.7	189.7	82.7
0.6	27.4	42.8	191.1	87.1
0.7	32.0	49.9	191.6	91.2
0.8	32.4	57.0	192.1	93.8
0.9	39.8	64.2	201	101.7
1	40.8	71.3	204.9	105.7
1.1	43.5	128.8	207.2	126.5
1.2	0.0	150.5	208.3	119.6
1.3	8.8	152.0	208.5	123.1
1.4	17.7	158.8	208.6	128.4
1.5	26.5	164.0	210	133.5
1.6	35.3	175.0	211.4	140.6
1.7	44.2	178.0	211.6	144.6
1.8	53.0	179.3	211.8	148.0
1.9	61.8	188.9	212.5	154.4
2	70.6	180.2	213.6	154.8
2.1	79.5	181.7	213.2	158.1
2.2	88.3	185.3	212.8	162.1
2.3	84.8	187.5	212.6	161.6

Defleksi	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
2.4	84.9	197.9	212.4	165.1
2.5	87.8	199.9	209.7	165.8
2.6	95.7	207.3	207	170.0
2.7	104.0	208.9	205.9	172.9
2.8	115.0	213.7	202.5	177.1
2.9	124.7	214.7	201	180.1
3	125.5	215.2	199.2	180.0
3.1	131.9	215.4	197.7	181.7
3.2	142.8	215.7	198.2	185.6
3.3	147.9	210.1	197.7	185.2
3.4	153.6	211.3	197.3	187.4
3.5	154.6	211.8	192.8	186.4
3.6	155.4	216.4	191	187.6
3.7	160.9	216.8	192.8	190.2
3.8	165.8	218.9	189.7	191.5
3.9	167.0	219.2	189.7	192.0
4	172.5	218.9	188.4	193.3
4.1	174.5	218.4	186.9	193.3
4.2	180.0	215.8	185.4	193.7
4.3	185.0	215.1	185	195.0
4.4	189.4	214.6	184.8	196.3
4.5	196.5	214.0	184.6	198.4
4.6	197.9	211.7	184.3	198.0
4.7	203.9	211.4	184	199.8
4.8	208.6	211.1	181.3	200.3
4.9	210.8	207.7	182.1	200.2
5	210.5	205.4	180.9	198.9
5.1	210.2	204.4	180.9	198.5
5.2	208.4	201.7	180.2	196.8
5.3	207.0	200.6	175.8	194.5
5.4	206.9	196.4	175.6	193.0
5.5	206.7	195.5	175.8	192.7
5.6	206.4	192.3	175.2	191.3
5.7	206.0	191.3	174.9	190.7
5.8	206.0	191.1	174.5	190.5
5.9	205.8	190.6	174.5	190.3
6	205.3	187.7	174.2	189.1
6.1	204.3	187.0	173	188.1
6.2	202.9	183.0	171.5	185.8
6.3	199.9	181.8	171	184.2
6.4	197.8	181.3	170.7	183.3
6.5	197.4	180.8	170.6	182.9

Defleksi	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
6.6	197.0	178.0	170.4	181.8
6.7	196.8	176.4	170.3	181.2
6.8	194.7	173.1	170	179.3
6.9	194.2	172.3	170	178.8
7	194.0	171.7	169.7	178.5
7.1	193.7	167.8	168.4	176.6
7.2	190.7	165.4	167.3	174.5
7.3	189.6	163.2	166.7	173.2
7.4	188.8	162.7	166.3	172.6
7.5	186.7	159.8	166	170.8
7.6	185.8	158.1	165.7	169.9
7.7	183.2	157.8	165.5	168.8
7.8	182.6	154.4	165.4	167.5
7.9	181.3	153.2	165	166.5
8	177.9	151.0	164.7	164.5
8.1	177.3	150.5	164.3	164.0
8.2	176.7	149.9	162.3	163.0
8.3	173.9	147.0	161.8	160.9
8.4	173.3	146.2	161.3	160.3
8.5	168.0	146.0	161.1	158.4
8.6	165.9	145.4	161	157.4
8.7	164.6	141.8	160.9	155.8
8.8	163.6	141.3	160.8	155.2
8.9	161.4	140.9	160.8	154.4
9	159.1	137.7	160.8	152.5
9.1	156.5	137.3	160.5	151.4
9.2	154.9	136.9	158.1	150.0
9.3	152.5	136.6	157.6	148.9
9.4	151.4	133.7	157	147.4
9.5	147.7	133.3	156.8	145.9
9.6	147.2	132.6	155.8	145.2
9.7	145.2	129.8	155.5	143.5
9.8	143.2	129.5	155.3	142.7
9.9	138.8	129.4	155.2	141.1
10	135.8	128.6	153.8	139.4
10.1	134.6	126.8	152.9	138.1
10.2	130.8	126.3	152	136.4
10.3	127.4	125.9	151.4	134.9
10.4	126.8	123.9	151.3	134.0
10.5	123.4	123.0	151.3	132.6
10.6	120.8	122.1	151.2	131.4
10.7	119.7	120.1	151.1	130.3

Defleksi	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
10.8	118.9	120.0	150.5	129.8
10.9	116.0	119.3	147.9	127.7
11	115.5	117.3	147	126.6
11.1	112.8	117.2	146.9	125.6
11.2	109.2	116.9	146.9	124.3
11.3	107.2	114.5	146.9	122.9
11.4	105.2	114.1	146.9	122.1

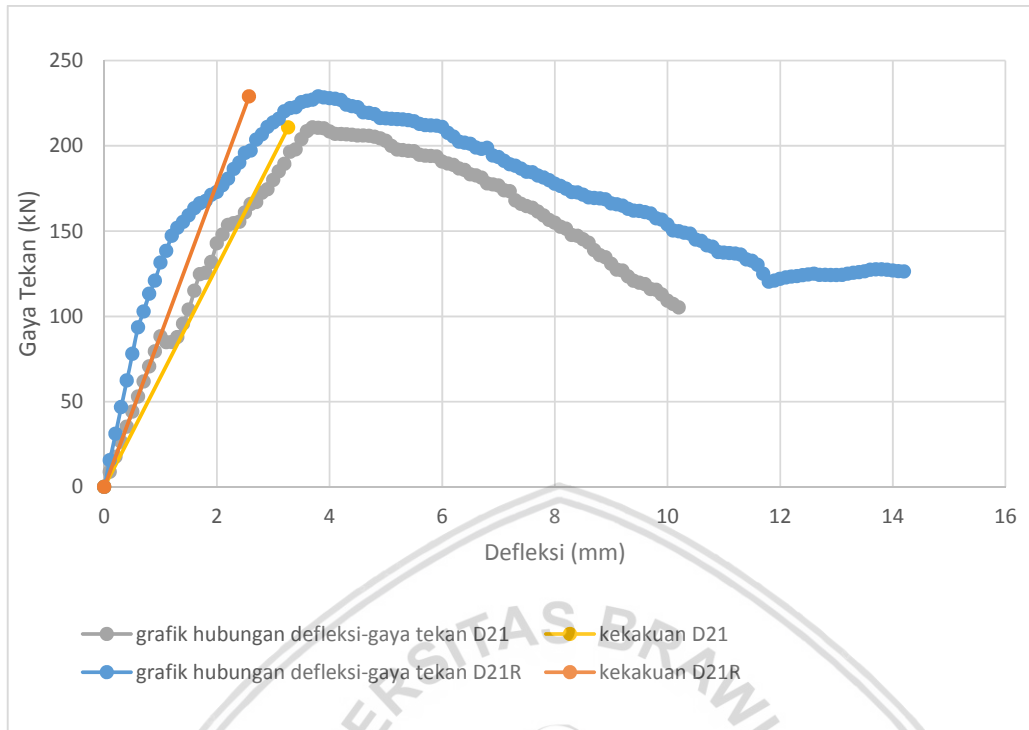
Tabel 4.20. Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit D.2

Defleksi	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0	0	0	0.0
0.1	15.6	8.8	69.8	31.4
0.2	31.2	14	105.4	50.2
0.3	46.8	25.9	130.2	67.6
0.4	62.4	35.6	147.6	81.9
0.5	78	50.3	157.2	95.2
0.6	93.6	64.6	166.7	108.3
0.7	102.8	75.6	170.5	116.3
0.8	113.2	90.4	177.9	127.2
0.9	120.9	100.5	183.7	135.0
1	131.5	108.9	186.2	142.2
1.1	138.4	118	191	149.1
1.2	147.2	114	195.4	152.2
1.3	151.9	119	199.6	156.8
1.4	155.3	128.9	202.3	162.2
1.5	159.2	128.3	204.2	163.9
1.6	163.4	128.3	208.9	166.9
1.7	166.3	130.5	214.9	170.6
1.8	167.6	132.8	217.3	172.6
1.9	171.2	133.6	221.6	175.5
2	172.9	134.9	225.8	177.9
2.1	176.9	136.1	226.7	179.9
2.2	180.7	136.9	226.9	181.5
2.3	186.4	137.5	230.5	184.8
2.4	190.1	139.2	231.5	186.9
2.5	195.8	140.4	233.4	189.9
2.6	197.2	141.2	233.8	190.7

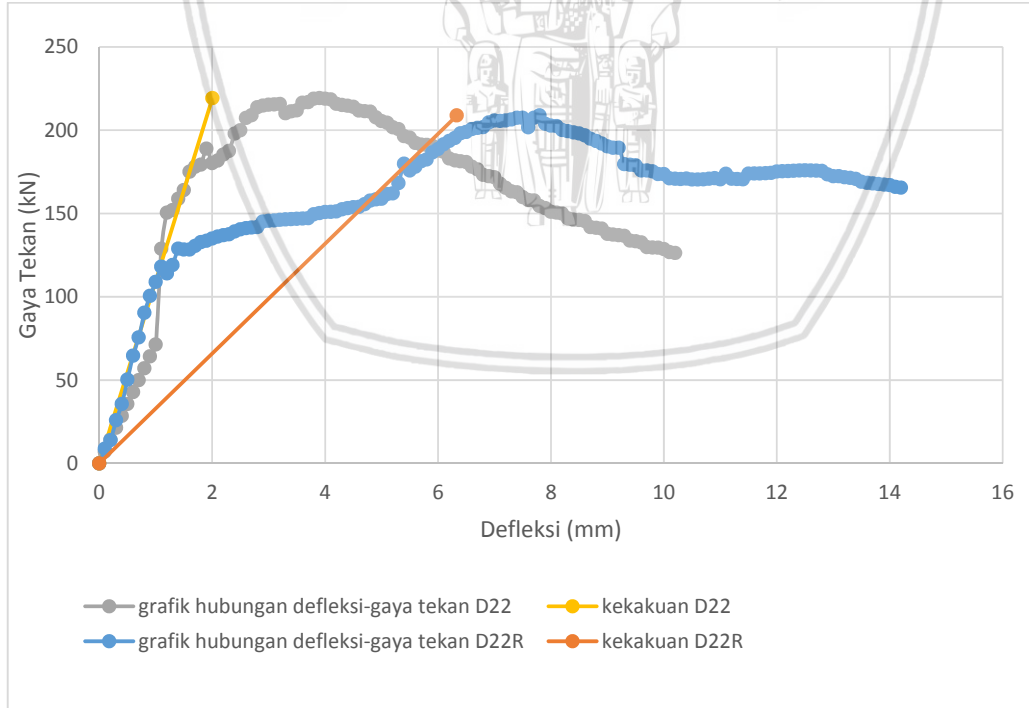
Defleksi	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
2.7	203.6	141.5	235.1	193.4
2.8	206.7	141.8	237.5	195.3
2.9	211	145.1	240.8	199.0
3	213.7	145.6	241.7	200.3
3.1	215.8	145.8	244.8	202.1
3.2	220.2	146.1	247.2	204.5
3.3	222.1	146.4	248.1	205.5
3.4	222.6	146.6	248.8	206.0
3.5	225.5	146.8	249.3	207.2
3.6	226.4	146.9	249.6	207.6
3.7	227	147.1	249.1	207.7
3.8	228.9	149.5	246.4	208.3
3.9	228.3	150.2	246.5	208.3
4	227.9	150.8	246.7	208.5
4.1	227.5	150.9	247	208.5
4.2	226.8	151.2	247.3	208.4
4.3	224.1	152.5	247.5	208.0
4.4	223.2	153.2	247.7	208.0
4.5	222.6	153.7	247.8	208.0
4.6	219.6	153.9	247	206.8
4.7	219.2	155.5	243	205.9
4.8	218.5	157.7	242.9	206.4
4.9	216.2	158.4	237.7	204.1
5	216.1	158.8	235.9	203.6
5.1	215.8	161.6	233.6	203.7
5.2	215.6	162	232.8	203.5
5.3	215.4	168.2	232.2	205.3
5.4	215	179.8	232.1	209.0
5.5	214.4	175.8	231.6	207.3
5.6	212.8	178	230.8	207.2
5.7	212.1	181.3	228.5	207.3
5.8	211.9	182.4	228.2	207.5
5.9	211.7	186.6	227.9	208.7
6	211	188.6	227.6	209.1
6.1	207.6	191.5	225.3	208.1
6.2	205.4	193.5	224.4	207.8
6.3	202.4	195.3	224.1	207.3
6.4	201.8	198.1	223.5	207.8
6.5	201.1	198.9	221.9	207.3
6.6	198.9	200.6	221.3	206.9
6.7	198.1	201.3	221.1	206.8
6.8	198.8	201.8	220.7	207.1

Defleksi	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
6.9	194.3	204.6	220.4	206.4
7	193.4	205.8	220.1	206.4
7.1	191.2	205.5	218.3	205.0
7.2	189.1	205.8	217.6	204.2
7.3	188.3	206.4	217.5	204.1
7.4	186.6	207.4	217.4	203.8
7.5	184.7	207.4	216.6	202.9
7.6	184.5	201.7	215.6	200.6
7.7	182.5	207.4	213.5	201.1
7.8	181.4	208.8	213.2	201.1
7.9	179.8	203.8	212.6	198.7
8	177.8	202.7	210.8	197.1
8.1	176.4	202.4	209.5	196.1
8.2	174.8	200.1	209.1	194.7
8.3	172.8	199.3	208.5	193.5
8.4	172.6	198.6	206.4	192.5
8.5	171.3	198	205.6	191.6
8.6	169.7	196.8	205.1	190.5
8.7	169.4	194.8	204.9	189.7
8.8	169.1	193.5	204.4	189.0
8.9	168.6	191.9	204.1	188.2
9	166.2	190.2	202.4	186.3
9.1	165.7	189.4	201.9	185.7
9.2	164.9	189.4	201.7	185.3
9.3	163	179.6	200.5	181.0
9.4	162	179.2	200.1	180.4
9.5	161.8	178.8	197.7	179.4
9.6	161.1	175.8	197.4	178.1
9.7	160.3	175.8	197.1	177.7
9.8	157.5	175.2	196.5	176.4
9.9	156.7	173.6	194.3	174.9
10	153.8	173.6	192.9	173.4
10.1	150.3	171.1	192.1	171.2
10.2	149.9	170.8	190.9	170.5
10.3	149	170.6	186.8	168.8
10.4	148.5	170.9	186.1	168.5
10.5	145	170.3	185.6	167.0
10.6	144.2	170.3	182.2	165.6
10.7	141.6	170.4	181.5	164.5
10.8	140.8	170.8	181	164.2
10.9	137.7	171.2	179.9	162.9
11	137.3	170.4	178.1	161.9

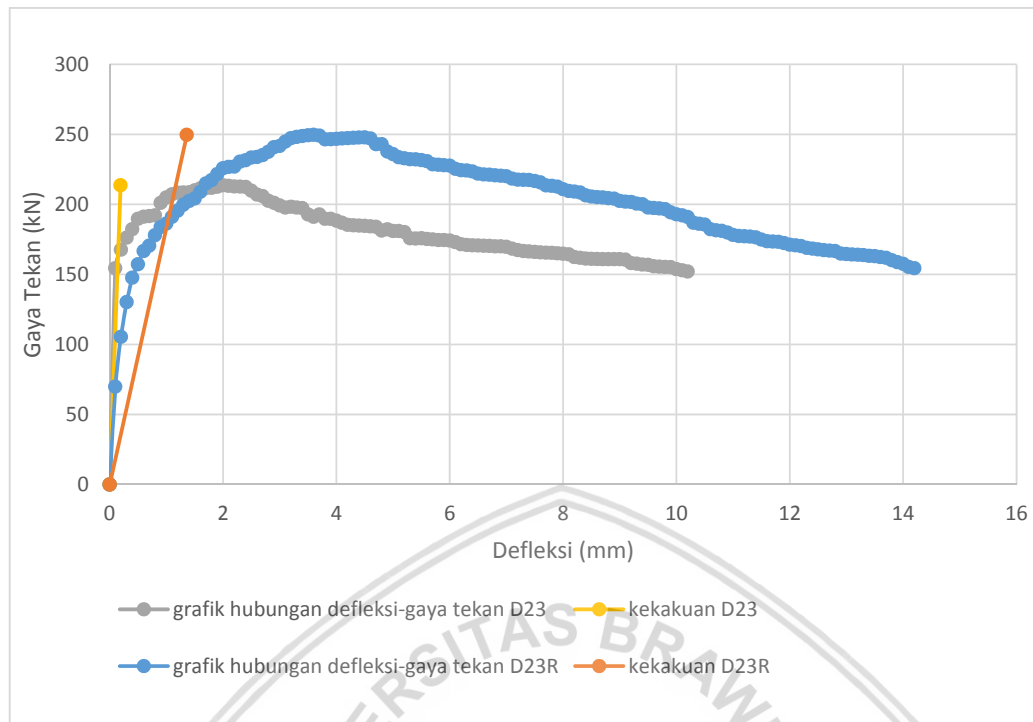
Defleksi	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
11.1	137.1	173.8	177.4	162.8
11.2	136.8	170.8	177.2	161.6
11.3	136.2	170.6	177	161.3
11.4	133.4	170.4	176.4	160.1
11.5	132.6	173.9	174.8	160.4
11.6	130.2	174	173.6	159.3
11.7	125	174	173.4	157.5
11.8	120.3	174.1	173.2	155.9
11.9	120.9	174.3	172.3	155.8
12	122	175.1	171.2	156.1
12.1	122.8	175.3	170.7	156.3
12.2	123.3	175.4	170.2	156.3
12.3	123.6	175.6	168.9	156.0
12.4	124.1	175.8	168.4	156.1
12.5	124.5	175.9	167.8	156.1
12.6	125	175.8	167.3	156.0
12.7	124.3	175.7	167	155.7
12.8	124.3	175.5	166.7	155.5
12.9	124.2	173.4	164.8	154.1
13	124.2	172.3	164.5	153.7
13.1	124.3	172.3	164.2	153.6
13.2	125	171.7	164	153.6
13.3	125.5	171.3	163.8	153.5
13.4	125.9	170.7	163.2	153.3
13.5	126.4	169	163	152.8
13.6	127.3	168.4	162.4	152.7
13.7	127.5	168	161.8	152.4
13.8	127.5	167.6	160.1	151.7
13.9	127.3	167.3	158.7	151.1
14	126.8	167	157.5	150.4
14.1	126.5	165.9	155.3	149.2
14.2	126.3	165.5	154.4	148.7



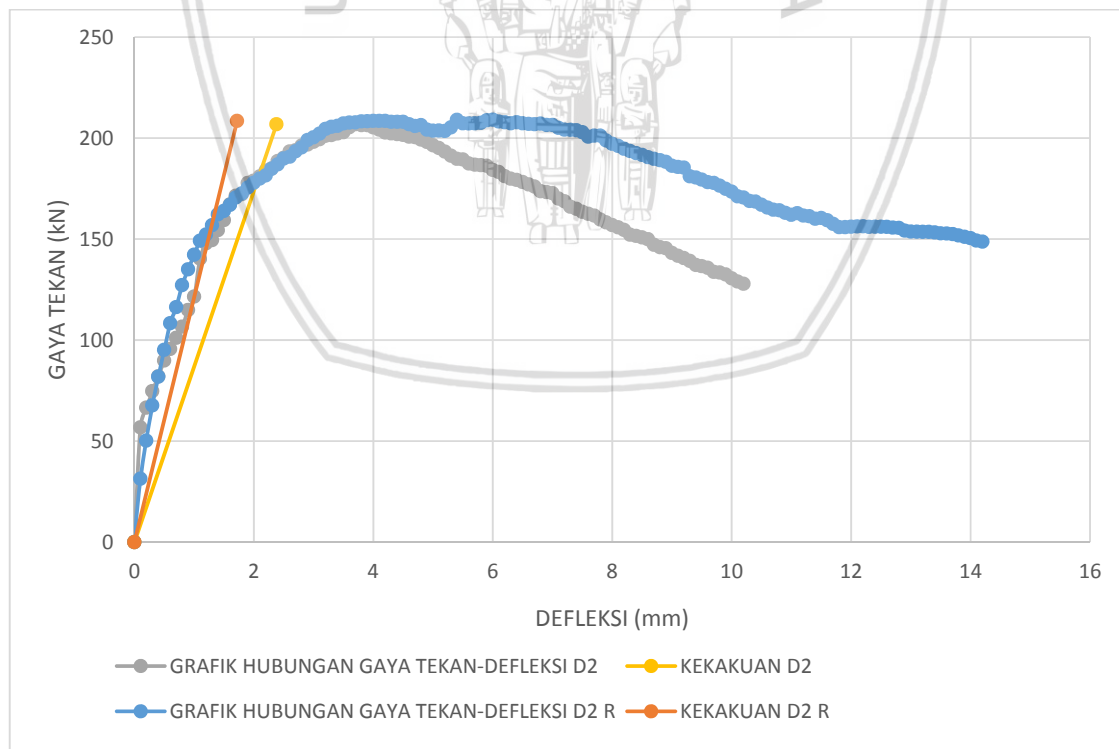
Gambar 4.18. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.1 dengan kolom retrofit D.2.1



Gambar 4.19. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.2 dengan kolom retrofit D.2.2



Gambar 4.20. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2.3 dengan kolom retrofit D.2.3



Gambar 4.21. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli D.2 dan kolom retrofit D.2 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit D.2.1, D.2.2 dan D.2.3. Dimana pengambilan nilai rata-rata gabungan diperoleh dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Dapat disimpulkan, pada kolom retrofit D.2 terjadi peningkatan batas runtuh kolom asli D.2 dengan beban maksimum yang semula sebesar 206.8 kN. Namun beban maksimum kolom retrofit D.2 memiliki beban puncak sebesar 208.5 kN, atau bila dipresentasikan meningkat sebesar 0.82 %.

Dari analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah dijelaskan sebelumnya. Bahwa kolom asli D.2 memiliki nilai kekakuan sebesar 86.88 kN/mm, dan kolom retrofit D.2 memiliki nilai kekakuan 121.24 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom asli D.2 tidak lebih kaku jika dibandingkan kolom retrofit D.2, dimana kekakuan mengalami peningkatan sebesar 39.55%.

4.6.2 Hubungan Tegangan dan Regangan Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Hasil tegangan dan regangan yang diperoleh dari pengujian kolom asli dan kolom retrofit bisa ditindak lanjuti untuk mengetahui nilai modulus elastisitas dari suatu benda. Semakin besar dari nilai modulus elastisitas, maka benda akan menjadi semakin kaku. Sedangkan sebaliknya bila nilai modulus elastisitas semakin kecil, maka benda itu akan semakin elastis.

Untuk menghitung nilai modulus elastisitas digunakan rumus :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)

σ = Tegangan (kN/mm²)

ε = Regangan

Untuk mencari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit, digunakan nilai tegangan 75% tegangan maksimum yang diperoleh dari nilai gaya tekan maksimum dibagi dengan luas penampang kolom dan nilai regangan diambil dari nilai defleksi dari 75 % gaya tekan maksimum dibagi dengan panjang mula – mula kolom yakni 300 mm.

Tabel 4.21. Tabel data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	C.1.1	0.0144	0.0074	0.0108	0.0055	0.0075	0.0049	1.4519	1.1204
2	C1 C.1.2	0.0180	0.0083	0.0135	0.0062	0.0071	0.0014	1.8853	4.4955
3	C.1.3	0.0145	0.0074	0.0109	0.0055	0.0035	0.0051	3.1495	1.0893
4	C.2.1	0.0135	0.0087	0.0102	0.0065	0.0023	0.0013	4.4440	4.8227
5	C2 C.2.2	0.0122	0.0076	0.0091	0.0057	0.0022	0.0029	4.1162	1.9548
6	C.2.3	0.0145	0.0083	0.0109	0.0062	0.0029	0.0069	3.8077	0.9064
7	D.1.1	0.0138	0.0071	0.0104	0.0053	0.0077	0.0066	1.3430	0.8045
8	D1 D.1.2	0.0123	0.0080	0.0092	0.0060	0.0024	0.0078	3.8409	0.7677
9	D.1.3	0.0134	0.0084	0.0100	0.0063	0.0032	0.0039	3.1095	1.6091
10	D.2.1	0.0146	0.0071	0.0110	0.0053	0.0039	0.0064	2.8147	0.8268
11	D2 D.2.2	0.0152	0.0064	0.0114	0.0048	0.0049	0.0031	2.3346	1.5638
12	D.2.3	0.0148	0.0077	0.0111	0.0058	0.0039	0.0051	2.8780	1.1266

Tabel 4.22. Tabel data rata – rata tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	C1	0.0133	0.0075	0.0100	0.0056	0.0026	0.0053	3.7722	1.0552
2	C2	0.0128	0.0079	0.0096	0.0059	0.0026	0.0030	3.7513	1.9473
3	D1	0.0126	0.0073	0.0094	0.0055	0.0039	0.0040	2.4097	1.3777
4	D2	0.0144	0.0064	0.0108	0.0048	0.0060	0.0043	1.8100	1.1226

Untuk tabel hasil rata – rata modulus elastisitas hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit didapatkan dari rata – rata data tegangan tekan per sampel kolom asli dan kolom retrofit, bukan dari rata-rata aljabar dari setiap sampel. Hal ini dikarenakan nilai regangan pada saat tegangan maksimum masing-masing jenis sampel kolom berbeda.

Contoh perhitungan Modulus Elastisitas (E) (Kolom asli C.1) :

Diketahui :

$$\sigma_{\max} = 0.0133$$

$$75\% \sigma_{\max} = 75\% \times 0.0133 = 0.01 \text{ kN/mm}^2$$

$$\varepsilon_{75\% \sigma_{\max}} = 0.0026$$

Ditanya : E ?

Jawab :

$$E = \frac{75\% \sigma_{\max}}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{0.0133 \text{ kN/mm}^2}{0.0026}$$

$$E = 3.7722 \text{ kN/mm}^2$$

4.6.2.1 Kolom Asli C.1 – Kolom Retrofit C.1

Tabel 4.23. Tabel tegangan dan regangan kolom asli C.1

Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0003	0.0009	0.0027	0.0014	0.0017
0.0007	0.0017	0.0055	0.0027	0.0033
0.0010	0.0026	0.0082	0.0041	0.0050
0.0013	0.0034	0.0110	0.0054	0.0066
0.0017	0.0042	0.0113	0.0068	0.0074
0.0020	0.0048	0.0120	0.0076	0.0081
0.0023	0.0053	0.0132	0.0087	0.0091
0.0027	0.0058	0.0145	0.0099	0.0100
0.0030	0.0059	0.0153	0.0105	0.0106
0.0033	0.0060	0.0163	0.0111	0.0111
0.0037	0.0060	0.0174	0.0115	0.0116
0.0040	0.0063	0.0178	0.0120	0.0120
0.0043	0.0066	0.0180	0.0123	0.0123
0.0047	0.0070	0.0179	0.0129	0.0126
0.0050	0.0073	0.0178	0.0133	0.0128
0.0053	0.0078	0.0174	0.0137	0.0130
0.0057	0.0083	0.0168	0.0140	0.0130
0.0060	0.0088	0.0166	0.0144	0.0133
0.0063	0.0090	0.0164	0.0145	0.0133
0.0067	0.0090	0.0160	0.0145	0.0132
0.0070	0.0098	0.0160	0.0142	0.0133
0.0073	0.0103	0.0156	0.0140	0.0133
0.0077	0.0108	0.0154	0.0138	0.0133
0.0080	0.0110	0.0151	0.0135	0.0132

Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.0083	0.0112	0.0149	0.0130	0.0130
0.0087	0.0114	0.0145	0.0126	0.0128
0.0090	0.0115	0.0142	0.0123	0.0127
0.0093	0.0119	0.0138	0.0121	0.0126
0.0097	0.0120	0.0134	0.0121	0.0125
0.0100	0.0121	0.0129	0.0119	0.0123
0.0103	0.0125	0.0127	0.0117	0.0123
0.0107	0.0126	0.0123	0.0117	0.0122
0.0110	0.0129	0.0121	0.0117	0.0122
0.0113	0.0131	0.0117	0.0116	0.0121
0.0117	0.0132	0.0114	0.0115	0.0121
0.0120	0.0135	0.0111	0.0115	0.0120
0.0123	0.0138	0.0108	0.0113	0.0119
0.0127	0.0138	0.0105	0.0112	0.0118
0.0130	0.0141	0.0102	0.0111	0.0118
0.0133	0.0142	0.0099	0.0111	0.0117
0.0137	0.0142	0.0096	0.0111	0.0117
0.0140	0.0143	0.0095	0.0108	0.0115
0.0143	0.0144	0.0093	0.0108	0.0115
0.0147	0.0144	0.0091	0.0107	0.0114
0.0150	0.0144	0.0089	0.0105	0.0113
0.0153	0.0144	0.0084	0.0104	0.0111

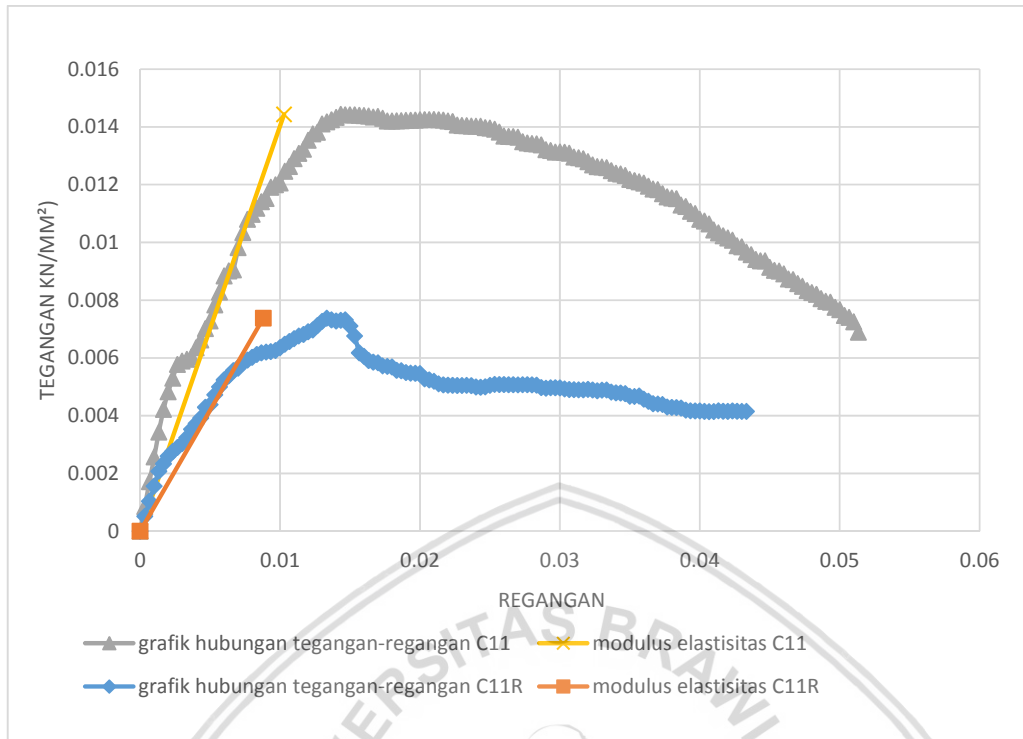
Tabel 4.24. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit C.1

Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0	0	0	0	0
0.0003	0.000519	0.000345	0.000506	0.000457
0.0007	0.001038	0.000690	0.001012	0.000914
0.0010	0.001557	0.001035	0.001306	0.001299
0.0013	0.002077	0.001381	0.001478	0.001645
0.0017	0.002336	0.001726	0.001778	0.001947
0.0020	0.002596	0.002071	0.002086	0.002251
0.0023	0.002762	0.002296	0.002599	0.002552
0.0027	0.002898	0.002454	0.003093	0.002815
0.0030	0.003034	0.002667	0.004028	0.003243
0.0033	0.003241	0.002954	0.004648	0.003614
0.0037	0.003531	0.003346	0.005099	0.003992
0.0040	0.003725	0.003614	0.005679	0.004340
0.0043	0.003920	0.004003	0.006003	0.004642
0.0047	0.004290	0.004574	0.006281	0.005048

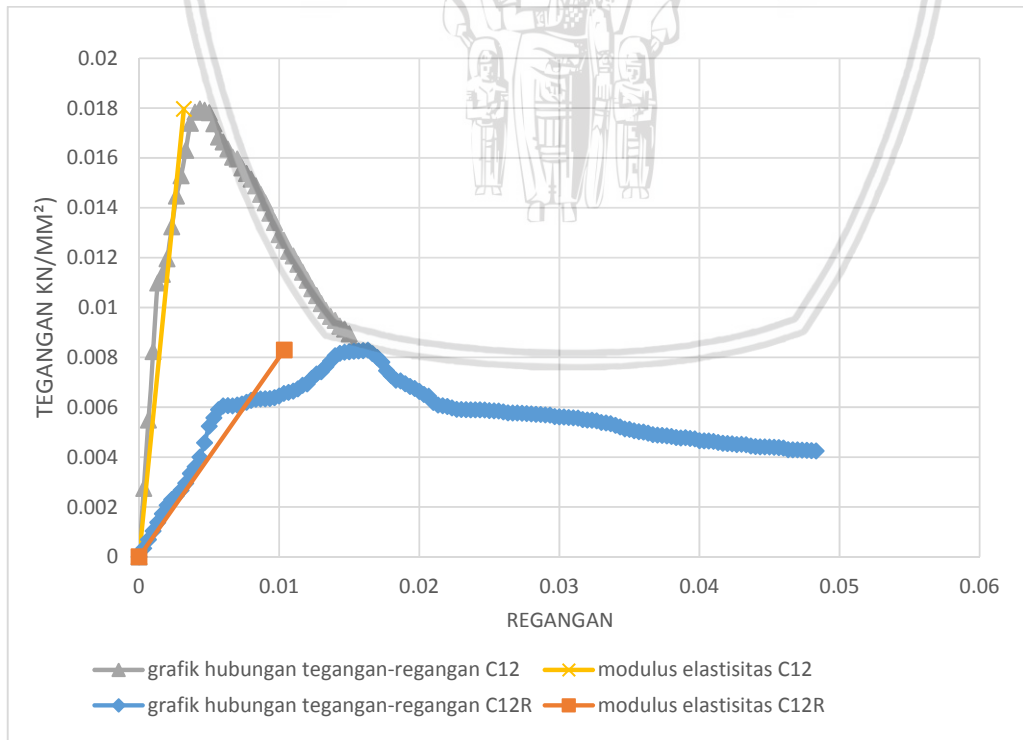
Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.0050	0.004383	0.005241	0.006454	0.005359
0.0053	0.004722	0.005577	0.006571	0.005623
0.0057	0.005000	0.005901	0.006821	0.005907
0.0060	0.005241	0.006056	0.006892	0.006063
0.0063	0.005383	0.006065	0.006969	0.006139
0.0067	0.005565	0.006052	0.006963	0.006193
0.0070	0.005648	0.006090	0.006981	0.006240
0.0073	0.005827	0.006127	0.007108	0.006354
0.0077	0.005926	0.006198	0.007127	0.006417
0.0080	0.006022	0.006275	0.007142	0.006479
0.0083	0.006120	0.006318	0.007231	0.006557
0.0087	0.006179	0.006330	0.007275	0.006595
0.0090	0.006204	0.006336	0.007367	0.006636
0.0093	0.006219	0.006352	0.007367	0.006646
0.0097	0.006253	0.006389	0.007364	0.006669
0.0100	0.006358	0.006451	0.007358	0.006722
0.0103	0.006475	0.006556	0.007373	0.006801
0.0107	0.006568	0.006596	0.007358	0.006841
0.0110	0.006667	0.006648	0.007358	0.006891
0.0113	0.006762	0.006735	0.007352	0.006950
0.0117	0.006815	0.006883	0.007340	0.007012
0.0120	0.006907	0.006935	0.007256	0.007033
0.0123	0.006969	0.007157	0.007204	0.007110
0.0127	0.007120	0.007333	0.007142	0.007199
0.0130	0.007265	0.007423	0.007142	0.007277
0.0133	0.007373	0.007633	0.007127	0.007378
0.0137	0.007321	0.007846	0.007012	0.007393
0.0140	0.007275	0.008065	0.006981	0.007440
0.0143	0.007306	0.008160	0.006944	0.007470
0.0147	0.007321	0.008207	0.006914	0.007480
0.0150	0.007105	0.008228	0.006886	0.007406
0.0153	0.006762	0.008247	0.006833	0.007281
0.0157	0.006176	0.008256	0.006806	0.007079
0.0160	0.006056	0.008272	0.006660	0.006996
0.0163	0.005910	0.008296	0.006651	0.006953
0.0167	0.005855	0.008148	0.006590	0.006864
0.0170	0.005833	0.007997	0.006552	0.006794
0.0173	0.005725	0.007809	0.006543	0.006692
0.0177	0.005710	0.007469	0.006525	0.006568
0.0180	0.005685	0.007265	0.006494	0.006481
0.0183	0.005574	0.007090	0.006485	0.006383
0.0187	0.005556	0.007059	0.006478	0.006364
0.0190	0.005494	0.006944	0.006472	0.006303

Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.0193	0.005472	0.006833	0.006460	0.006255
0.0197	0.005466	0.006756	0.006448	0.006223
0.0200	0.005457	0.006636	0.006386	0.006159
0.0203	0.005278	0.006515	0.006343	0.006045
0.0207	0.005238	0.006448	0.006296	0.005994
0.0210	0.005194	0.006194	0.006296	0.005895
0.0213	0.005102	0.006090	0.006210	0.005800
0.0217	0.005068	0.006060	0.006188	0.005772
0.0220	0.005059	0.006031	0.006176	0.005755
0.0223	0.005052	0.005974	0.006167	0.005731
0.0227	0.005046	0.005917	0.006151	0.005705
0.0230	0.005046	0.005907	0.006142	0.005699
0.0233	0.005049	0.005901	0.006090	0.005680
0.0237	0.005043	0.005898	0.006090	0.005677
0.0240	0.004994	0.005898	0.006037	0.005643
0.0243	0.004981	0.005898	0.006019	0.005633
0.0247	0.004997	0.005889	0.006006	0.005631
0.0250	0.005049	0.005864	0.005910	0.005608
0.0253	0.005080	0.005855	0.005892	0.005609
0.0257	0.005077	0.005849	0.005877	0.005601
0.0260	0.005077	0.005812	0.005864	0.005584
0.0263	0.005074	0.005775	0.005790	0.005546
0.0267	0.005071	0.005772	0.005762	0.005535
0.0270	0.005068	0.005769	0.005747	0.005528
0.0273	0.005074	0.005759	0.005748	0.005527
0.0277	0.005071	0.005744	0.005738	0.005517
0.0280	0.005068	0.005731	0.005676	0.005492
0.0283	0.005056	0.005716	0.005654	0.005475
0.0287	0.004975	0.005710	0.005642	0.005442
0.0290	0.004951	0.005694	0.005636	0.005427
0.0293	0.004966	0.005685	0.005623	0.005425
0.0297	0.004966	0.005627	0.005515	0.005369
0.0300	0.004963	0.005614	0.005488	0.005355
0.0303	0.004929	0.005605	0.005466	0.005333
0.0307	0.004907	0.005590	0.005435	0.005311
0.0310	0.004901	0.005580	0.005373	0.005285
0.0313	0.004895	0.005565	0.005364	0.005275
0.0317	0.004895	0.005506	0.005358	0.005253
0.0320	0.004910	0.005488	0.005340	0.005246
0.0323	0.004892	0.005481	0.005330	0.005235
0.0327	0.004864	0.005457	0.005324	0.005215
0.0330	0.004883	0.005389	0.005318	0.005197
0.0333	0.004889	0.005373	0.005287	0.005183

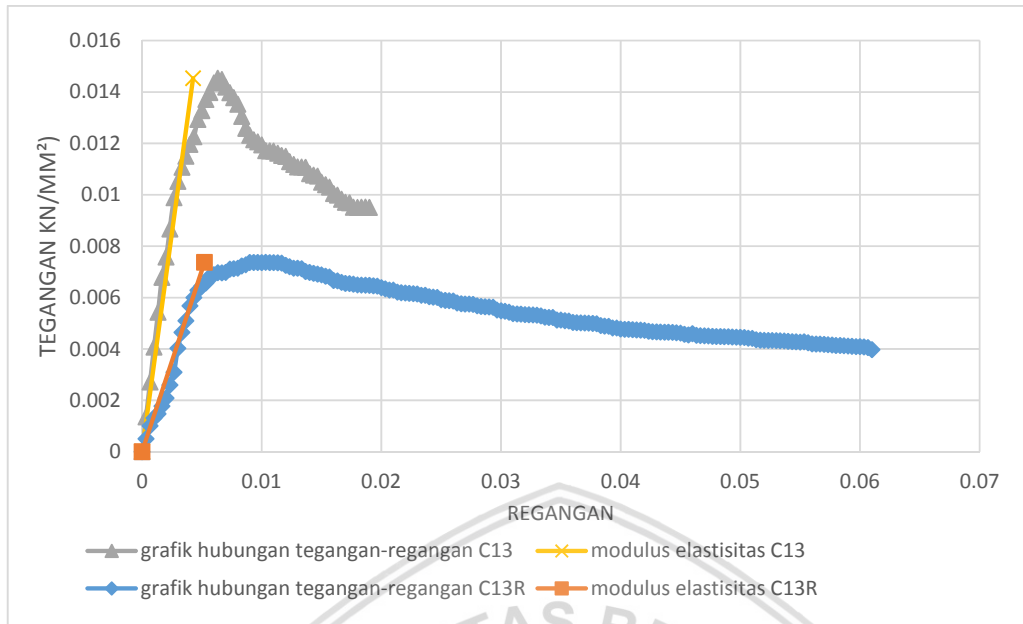
Regangan	C.1.1	C.1.2	C.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.0337	0.004815	0.005343	0.005238	0.005132
0.0340	0.004790	0.005275	0.005228	0.005098
0.0343	0.004784	0.005207	0.005228	0.005073
0.0347	0.004765	0.005133	0.005130	0.005009
0.0350	0.004673	0.005114	0.005130	0.004972
0.0353	0.004664	0.005059	0.005099	0.004940
0.0357	0.004682	0.005022	0.005086	0.004930
0.0360	0.004571	0.005006	0.005034	0.004870
0.0363	0.004500	0.004960	0.005025	0.004828
0.0367	0.004414	0.004901	0.005015	0.004777
0.0370	0.004407	0.004886	0.005009	0.004767
0.0373	0.004389	0.004870	0.005006	0.004755
0.0377	0.004302	0.004855	0.004991	0.004716
0.0380	0.004287	0.004830	0.004981	0.004700
0.0383	0.004278	0.004787	0.004914	0.004659
0.0387	0.004265	0.004769	0.004886	0.004640
0.0390	0.004191	0.004781	0.004880	0.004617
0.0393	0.004170	0.004753	0.004815	0.004579
0.0397	0.004164	0.004735	0.004815	0.004571
0.0400	0.004167	0.004657	0.004775	0.004533
0.0403	0.004151	0.004651	0.004765	0.004523
0.0407	0.004142	0.004645	0.004762	0.004516
0.0410	0.004145	0.004630	0.004753	0.004509
0.0413	0.004170	0.004590	0.004744	0.004501
0.0417	0.004157	0.004559	0.004738	0.004485
0.0420	0.004148	0.004546	0.004725	0.004473
0.0423	0.004164	0.004531	0.004688	0.004461
0.0427	0.004154	0.004503	0.004670	0.004442
0.0430	0.004148	0.004512	0.004664	0.004441
0.0433	0.004151	0.004494	0.004657	0.004434



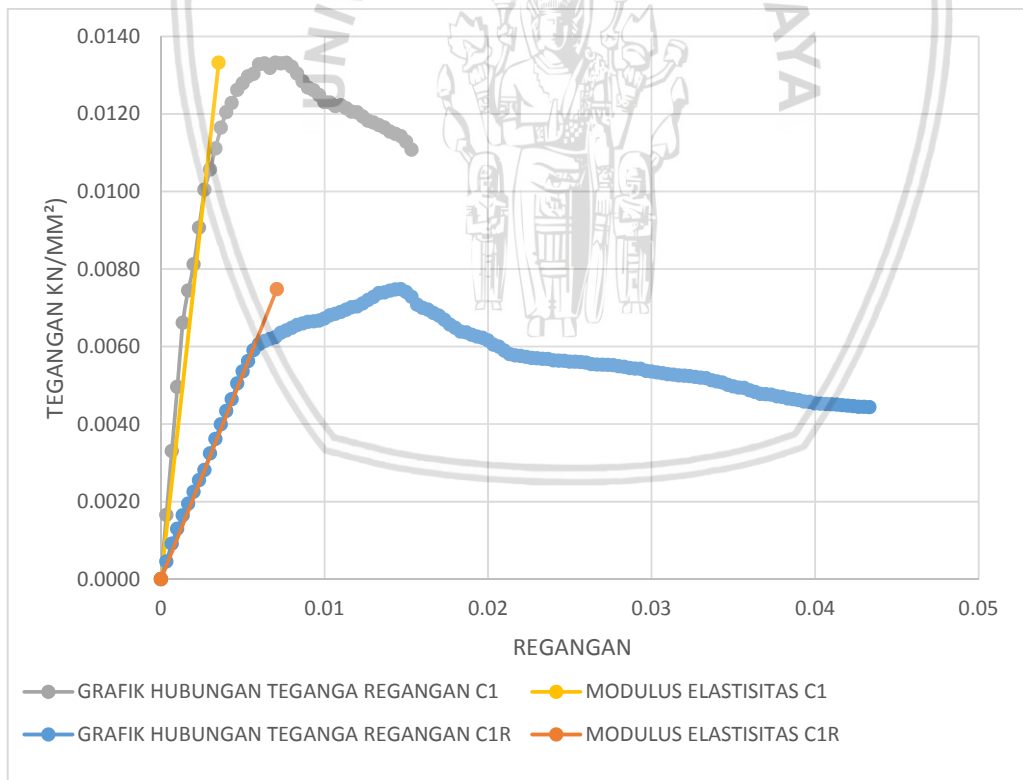
Gambar 4.22. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.1 dengan kolom retrofit C.1.1



Gambar 4.23. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.2 dengan kolom retrofit C.1.2



Gambar 4.24. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.3 dengan kolom retrofit C.1.3



Gambar 4.25. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1

Nilai modulus elastisitas pada kolom asli C.1 dan kolom retrofit C.1 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit C.1.1, C.1.2 dan C.1.3, bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak memiliki nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom asli C.1 sebesar 3.7722 kN/mm^2 , sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit C.1 sebesar 1.0552 kN/mm^2 . Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan elastisitas pada kolom retrofit C.1 sebesar 72.03% dari nilai elastisitas kolom asli C.1.

4.6.2.2 Kolom Asli C.2 – Kolom Retrofit C.2

Tabel 4.25. Tabel tegangan dan regangan kolom asli C.2

Regangan mm	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Tegangan kN/mm^2	Tegangan kN/mm^2	Tegangan kN/mm^2	Tegangan kN/mm^2
0	0	0	0	0
0.00033	0.00170	0.00237	0.00098	0.00169
0.00067	0.00341	0.00710	0.00197	0.00416
0.00100	0.00511	0.00947	0.00295	0.00585
0.00133	0.00681	0.01184	0.00394	0.00753
0.00167	0.00749	0.01217	0.00492	0.00819
0.00200	0.00838	0.01219	0.00591	0.00883
0.00233	0.00906	0.01211	0.00689	0.00935
0.00267	0.00924	0.01207	0.00788	0.00973
0.00300	0.00971	0.01195	0.00886	0.01017
0.00333	0.01017	0.01198	0.00891	0.01035
0.00367	0.01115	0.01199	0.00921	0.01078
0.00400	0.01158	0.01201	0.00935	0.01098
0.00433	0.01229	0.01201	0.00939	0.01123
0.00467	0.01256	0.01201	0.00939	0.01132
0.00500	0.01308	0.01202	0.00939	0.01150
0.00533	0.01334	0.01203	0.00941	0.01159
0.00567	0.01345	0.01205	0.00953	0.01168
0.00600	0.01344	0.01206	0.00992	0.01181
0.00633	0.01344	0.01208	0.00999	0.01184
0.00667	0.01349	0.01209	0.01009	0.01189
0.00700	0.01355	0.01210	0.01072	0.01212
0.00733	0.01349	0.01210	0.01080	0.01213
0.00767	0.01347	0.01209	0.01143	0.01233
0.00800	0.01325	0.01207	0.01172	0.01235
0.00833	0.01322	0.01205	0.01199	0.01242
0.00867	0.01319	0.01193	0.01240	0.01251
0.00900	0.01316	0.01188	0.01291	0.01265

Regangan	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.00933	0.01293	0.01186	0.01327	0.01269
0.00967	0.01289	0.01185	0.01352	0.01275
0.01000	0.01284	0.01184	0.01360	0.01276
0.01033	0.01260	0.01181	0.01383	0.01275
0.01067	0.01251	0.01178	0.01394	0.01275
0.01100	0.01232	0.01164	0.01418	0.01271
0.01133	0.01232	0.01160	0.01451	0.01281
0.01167	0.01228	0.01158	0.01413	0.01266
0.01200	0.01222	0.01155	0.01400	0.01259
0.01233	0.01217	0.01138	0.01399	0.01251
0.01267	0.01197	0.01130	0.01400	0.01242
0.01300	0.01192	0.01125	0.01399	0.01239
0.01333	0.01189	0.01123	0.01397	0.01236
0.01367	0.01178	0.01122	0.01372	0.01224
0.01400	0.01172	0.01121	0.01366	0.01220
0.01433	0.01171	0.01121	0.01359	0.01217
0.01467	0.01171	0.01122	0.01346	0.01213
0.01500	0.01171	0.01122	0.01340	0.01211
0.01533	0.01170	0.01123	0.01338	0.01210
0.01567	0.01169	0.01124	0.01338	0.01210
0.01600	0.01167	0.01123	0.01338	0.01209
0.01633	0.01166	0.01122	0.01337	0.01208
0.01667	0.01160	0.01122	0.01335	0.01206
0.01700	0.01148	0.01118	0.01326	0.01197
0.01733	0.01147	0.01115	0.01313	0.01192
0.01767	0.01145	0.01098	0.01310	0.01184
0.01800	0.01144	0.01094	0.01312	0.01183
0.01833	0.01144	0.01091	0.01307	0.01181
0.01867	0.01143	0.01090	0.01305	0.01179
0.01900	0.01141	0.01088	0.01297	0.01175
0.01933	0.01139	0.01076	0.01297	0.01171
0.01967	0.01137	0.01070	0.01298	0.01168
0.02000	0.01122	0.01067	0.01298	0.01163
0.02033	0.01122	0.01066	0.01298	0.01162
0.02067	0.01121	0.01065	0.01295	0.01160
0.02100	0.01118	0.01064	0.01294	0.01159
0.02133	0.01102	0.01063	0.01294	0.01153
0.02167	0.01096	0.01062	0.01290	0.01149
0.02200	0.01092	0.01060	0.01282	0.01145
0.02233	0.01088	0.01059	0.01269	0.01139
0.02267	0.01080	0.01058	0.01267	0.01135
0.02300	0.01076	0.01056	0.01266	0.01133
0.02333	0.01076	0.01054	0.01265	0.01132

Regangan	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.02367	0.01076	0.01038	0.01264	0.01126
0.02400	0.01074	0.01030	0.01262	0.01122
0.02433	0.01069	0.01026	0.01248	0.01114
0.02467	0.01054	0.01023	0.01248	0.01108
0.02500	0.01051	0.01021	0.01248	0.01106
0.02533	0.01047	0.01010	0.01248	0.01101
0.02567	0.01046	0.01002	0.01240	0.01096
0.02600	0.01044	0.00999	0.01240	0.01094
0.02633	0.01041	0.00994	0.01222	0.01086
0.02667	0.01039	0.00992	0.01219	0.01084
0.02700	0.01015	0.00985	0.01217	0.01072
0.02733	0.01012	0.00976	0.01217	0.01068
0.02767	0.01013	0.00974	0.01215	0.01067
0.02800	0.01008	0.00971	0.01215	0.01064
0.02833	0.00988	0.00969	0.01214	0.01057
0.02867	0.00979	0.00968	0.01213	0.01053
0.02900	0.00978	0.00966	0.01211	0.01052
0.02933	0.00976	0.00965	0.01209	0.01050
0.02967	0.00974	0.00962	0.01198	0.01045
0.03000	0.00974	0.00946	0.01192	0.01037
0.03033	0.00972	0.00940	0.01188	0.01033
0.03067	0.00959	0.00940	0.01185	0.01028
0.03100	0.00952	0.00935	0.01181	0.01022
0.03133	0.00946	0.00924	0.01165	0.01012
0.03167	0.00942	0.00915	0.01157	0.01005
0.03200	0.00938	0.00911	0.01153	0.01001
0.03233	0.00924	0.00908	0.01152	0.00995
0.03267	0.00919	0.00905	0.01152	0.00992
0.03300	0.00915	0.00904	0.01152	0.00991
0.03333	0.00915	0.00903	0.01152	0.00990
0.03367	0.00913	0.00901	0.01152	0.00989
0.03400	0.00905	0.00900	0.01151	0.00985
0.03433	0.00891	0.00899	0.01149	0.00979
0.03467	0.00890	0.00897	0.01147	0.00978
0.03500	0.00891	0.00894	0.01146	0.00977
0.03533	0.00889	0.00892	0.01144	0.00975
0.03567	0.00894	0.00890	0.01135	0.00973
0.03600	0.00875	0.00879	0.01131	0.00962
0.03633	0.00874	0.00875	0.01131	0.00960
0.03667	0.00873	0.00874	0.01124	0.00957
0.03700	0.00869	0.00873	0.01122	0.00955
0.03733	0.00851	0.00872	0.01119	0.00947
0.03767	0.00849	0.00869	0.01110	0.00943

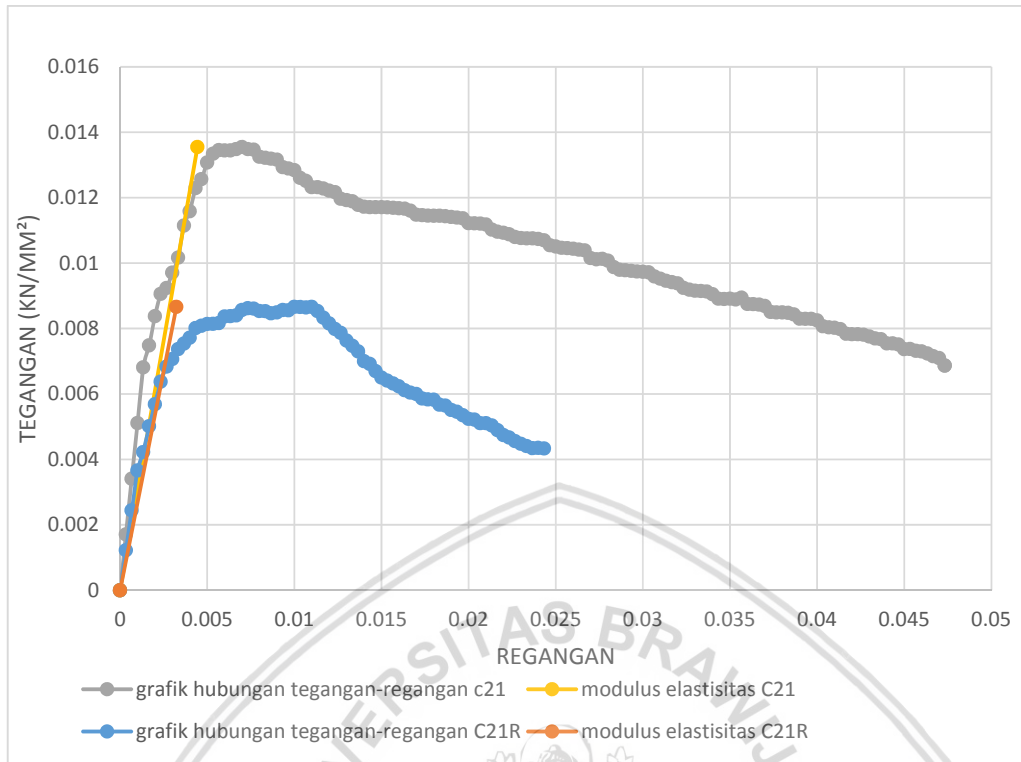
Regangan	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.03800	0.00849	0.00867	0.01110	0.00942
0.03833	0.00848	0.00866	0.01110	0.00941
0.03867	0.00843	0.00863	0.01110	0.00939
0.03900	0.00830	0.00862	0.01110	0.00934
0.03933	0.00829	0.00860	0.01109	0.00933
0.03967	0.00829	0.00859	0.01108	0.00932
0.04000	0.00825	0.00858	0.01107	0.00930
0.04033	0.00807	0.00857	0.01104	0.00923
0.04067	0.00803	0.00851	0.01102	0.00919
0.04100	0.00802	0.00845	0.01094	0.00914
0.04133	0.00798	0.00844	0.01087	0.00910
0.04167	0.00784	0.00844	0.01084	0.00904
0.04200	0.00783	0.00843	0.01083	0.00903
0.04233	0.00783	0.00842	0.01080	0.00902
0.04267	0.00781	0.00840	0.01078	0.00900
0.04300	0.00776	0.00838	0.01076	0.00897
0.04333	0.00769	0.00836	0.01075	0.00894
0.04367	0.00767	0.00833	0.01074	0.00891
0.04400	0.00754	0.00825	0.01073	0.00884
0.04433	0.00754	0.00820	0.01072	0.00882
0.04467	0.00751	0.00818	0.01072	0.00881
0.04500	0.00737	0.00817	0.01072	0.00875
0.04533	0.00738	0.00814	0.01070	0.00874
0.04567	0.00732	0.00813	0.01068	0.00871
0.04600	0.00730	0.00811	0.01067	0.00869
0.04633	0.00724	0.00810	0.01065	0.00866
0.04667	0.00715	0.00808	0.01063	0.00862
0.04700	0.00710	0.00808	0.01063	0.00860
0.04733	0.00687	0.00806	0.01062	0.00852
0.04767	0.00687	0.00805	0.01058	0.00850

Tabel 4.26. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit C.2

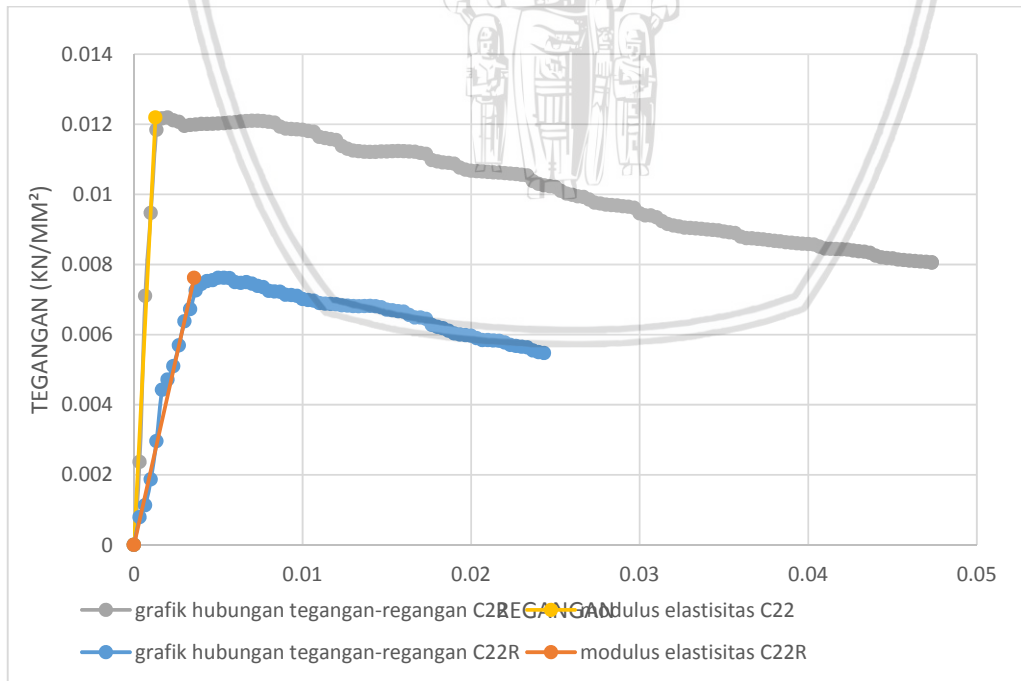
Regangan	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00033	0.00122	0.00079	0.00039	0.00080
0.00067	0.00244	0.00113	0.00077	0.00145
0.00100	0.00366	0.00187	0.00116	0.00223
0.00133	0.00422	0.00296	0.00142	0.00287
0.00167	0.00501	0.00442	0.00171	0.00372

Regangan	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.00200	0.00569	0.00472	0.00210	0.00417
0.00233	0.00637	0.00510	0.00273	0.00473
0.00267	0.00683	0.00569	0.00330	0.00528
0.00300	0.00706	0.00638	0.00415	0.00586
0.00333	0.00737	0.00673	0.00484	0.00631
0.00367	0.00754	0.00726	0.00553	0.00678
0.00400	0.00772	0.00744	0.00610	0.00709
0.00433	0.00801	0.00752	0.00643	0.00732
0.00467	0.00808	0.00755	0.00662	0.00742
0.00500	0.00814	0.00762	0.00682	0.00752
0.00533	0.00814	0.00762	0.00700	0.00759
0.00567	0.00817	0.00761	0.00714	0.00764
0.00600	0.00837	0.00750	0.00734	0.00774
0.00633	0.00838	0.00748	0.00739	0.00775
0.00667	0.00840	0.00750	0.00752	0.00780
0.00700	0.00856	0.00745	0.00754	0.00785
0.00733	0.00862	0.00739	0.00756	0.00786
0.00767	0.00861	0.00735	0.00757	0.00784
0.00800	0.00853	0.00724	0.00764	0.00781
0.00833	0.00853	0.00723	0.00767	0.00781
0.00867	0.00846	0.00722	0.00769	0.00779
0.00900	0.00849	0.00714	0.00770	0.00778
0.00933	0.00856	0.00713	0.00783	0.00784
0.00967	0.00856	0.00710	0.00788	0.00785
0.01000	0.00866	0.00702	0.00789	0.00785
0.01033	0.00866	0.00698	0.00801	0.00788
0.01067	0.00864	0.00697	0.00805	0.00788
0.01100	0.00866	0.00690	0.00805	0.00787
0.01133	0.00853	0.00688	0.00809	0.00783
0.01167	0.00833	0.00687	0.00816	0.00779
0.01200	0.00815	0.00686	0.00818	0.00773
0.01233	0.00799	0.00683	0.00824	0.00769
0.01267	0.00786	0.00682	0.00825	0.00765
0.01300	0.00763	0.00681	0.00826	0.00757
0.01333	0.00747	0.00681	0.00828	0.00752
0.01367	0.00730	0.00681	0.00831	0.00748
0.01400	0.00700	0.00682	0.00830	0.00737
0.01433	0.00692	0.00681	0.00830	0.00734
0.01467	0.00670	0.00678	0.00830	0.00726
0.01500	0.00650	0.00671	0.00829	0.00717
0.01533	0.00641	0.00669	0.00828	0.00713
0.01567	0.00632	0.00667	0.00827	0.00708
0.01600	0.00623	0.00665	0.00825	0.00705

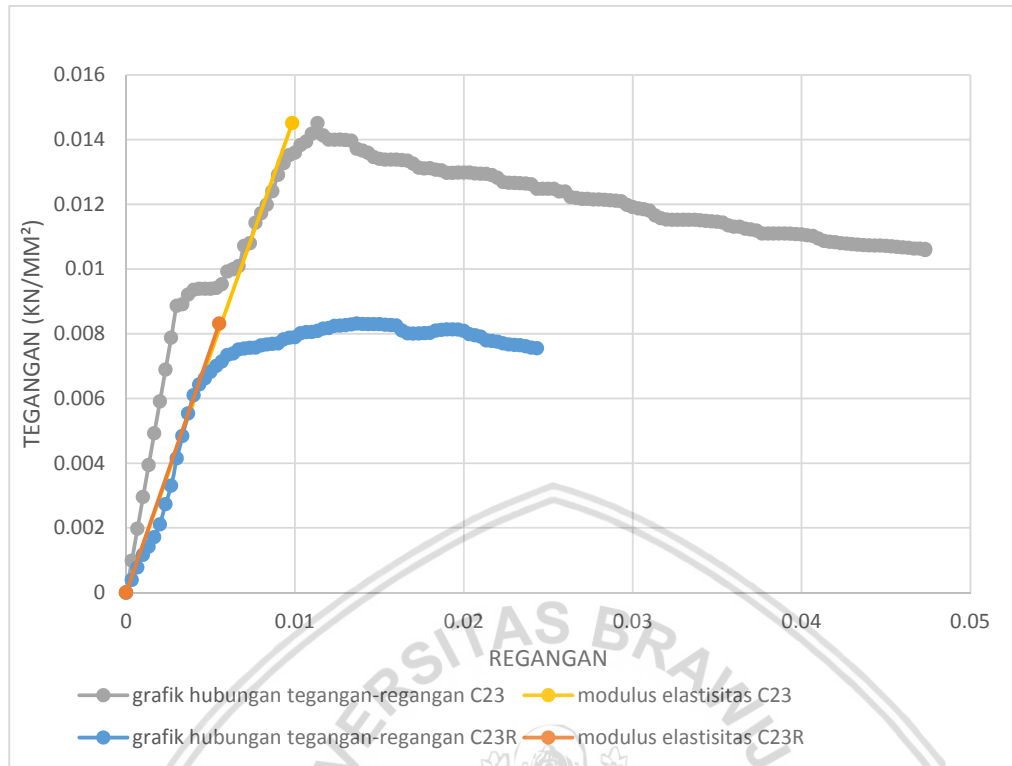
Regangan	C.2.1	C.2.2	C.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.01633	0.00611	0.00656	0.00810	0.00692
0.01667	0.00604	0.00649	0.00801	0.00685
0.01700	0.00600	0.00649	0.00800	0.00683
0.01733	0.00586	0.00645	0.00801	0.00677
0.01767	0.00583	0.00627	0.00802	0.00671
0.01800	0.00582	0.00622	0.00802	0.00669
0.01833	0.00567	0.00618	0.00810	0.00665
0.01867	0.00564	0.00611	0.00812	0.00662
0.01900	0.00551	0.00603	0.00813	0.00656
0.01933	0.00546	0.00600	0.00813	0.00653
0.01967	0.00535	0.00598	0.00813	0.00649
0.02000	0.00524	0.00597	0.00808	0.00643
0.02033	0.00522	0.00590	0.00798	0.00637
0.02067	0.00510	0.00584	0.00795	0.00630
0.02100	0.00510	0.00584	0.00791	0.00629
0.02133	0.00504	0.00583	0.00779	0.00622
0.02167	0.00490	0.00582	0.00777	0.00616
0.02200	0.00474	0.00577	0.00775	0.00609
0.02233	0.00467	0.00570	0.00770	0.00602
0.02267	0.00456	0.00567	0.00767	0.00597
0.02300	0.00448	0.00565	0.00765	0.00593
0.02333	0.00441	0.00564	0.00764	0.00590
0.02367	0.00434	0.00554	0.00761	0.00583
0.02400	0.00435	0.00550	0.00757	0.00581
0.02433	0.00433	0.00547	0.00755	0.00579



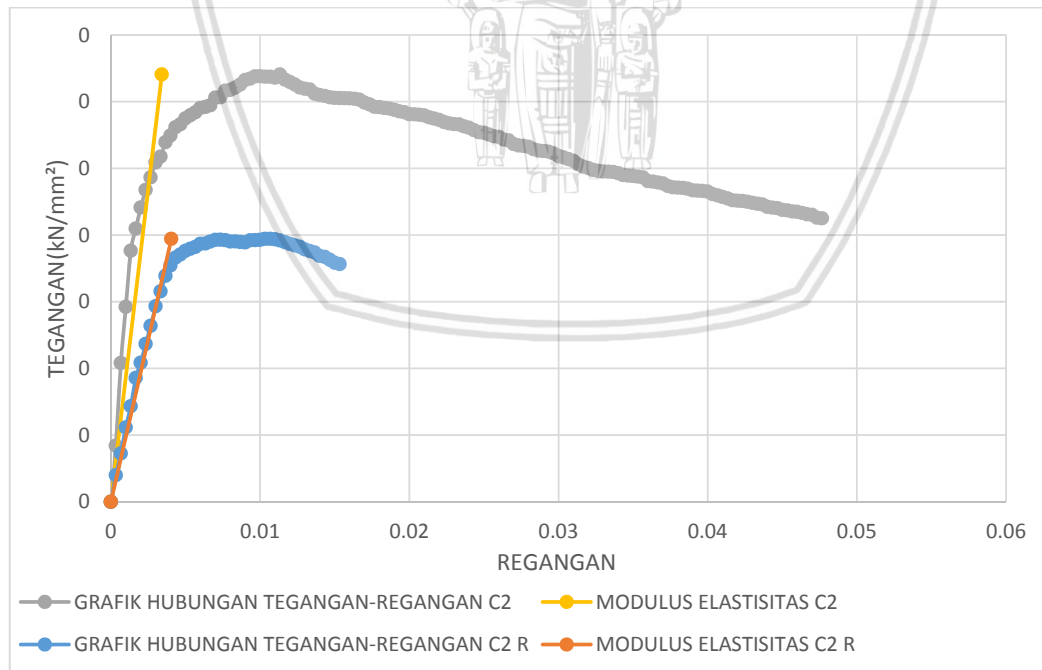
Gambar 4.26. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.1 dengan kolom retrofit C.2.1



Gambar 4.27. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.2 dengan kolom retrofit C.2.2



Gambar 4.28. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2.3 dengan kolom retrofit C.2.3



Gambar 4.29. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.2 dengan kolom retrofit C.2

Nilai modulus elastisitas pada kolom asli C.2 dan kolom retrofit C.2 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit C.2.1, C.2.2 dan C.2.3, bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak memiliki nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom asli C.2 sebesar 3.7513 kN/mm^2 , sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit C.2 sebesar 1.9473 kN/mm^2 . Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan elastisitas pada kolom retrofit C.2 sebesar 48.09 % dari nilai elastisitas kolom asli C.2.

4.6.2.3 Kolom Asli B.1 – Kolom Retrofit D.1

Tabel 4.27. Tabel tegangan dan regangan kolom asli D.1

Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm^2	kN/mm^2	kN/mm^2	kN/mm^2
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00033	0.00086	0.00053	0.00085	0.00075
0.00067	0.00172	0.00107	0.00169	0.00149
0.00100	0.00258	0.00160	0.00254	0.00224
0.00133	0.00344	0.00214	0.00338	0.00299
0.00167	0.00431	0.00265	0.00423	0.00373
0.00200	0.00517	0.00322	0.00508	0.00449
0.00233	0.00603	0.00389	0.00592	0.00528
0.00267	0.00689	0.00449	0.00677	0.00605
0.00300	0.00775	0.00512	0.00761	0.00683
0.00333	0.00861	0.00565	0.00846	0.00757
0.00367	0.00947	0.00633	0.00930	0.00837
0.00400	0.01074	0.00706	0.01015	0.00932
0.00433	0.01128	0.00791	0.01100	0.01006
0.00467	0.01145	0.00878	0.01184	0.01069
0.00500	0.01167	0.00942	0.01269	0.01126
0.00533	0.01198	0.01010	0.01299	0.01169
0.00567	0.01228	0.01080	0.01333	0.01213
0.00600	0.01235	0.01144	0.01340	0.01240
0.00633	0.01242	0.01199	0.01340	0.01260
0.00667	0.01244	0.01209	0.01338	0.01264
0.00700	0.01270	0.01218	0.01287	0.01258
0.00733	0.01279	0.01224	0.01266	0.01256
0.00767	0.01288	0.01228	0.01251	0.01255
0.00800	0.01291	0.01225	0.01226	0.01247
0.00833	0.01293	0.01203	0.01223	0.01240
0.00867	0.01294	0.01195	0.01229	0.01240
0.00900	0.01298	0.01051	0.01233	0.01194

Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.00933	0.01299	0.00985	0.01257	0.01181
0.00967	0.01301	0.00955	0.01258	0.01171
0.01000	0.01304	0.00930	0.01259	0.01164
0.01033	0.01328	0.00923	0.01259	0.01170
0.01067	0.01332	0.00900	0.01257	0.01163
0.01100	0.01335	0.00881	0.01256	0.01157
0.01133	0.01353	0.00876	0.01252	0.01160
0.01167	0.01357	0.00851	0.01238	0.01149
0.01200	0.01372	0.00840	0.01236	0.01149
0.01233	0.01376	0.00836	0.01233	0.01148
0.01267	0.01378	0.00815	0.01232	0.01142
0.01300	0.01381	0.00807	0.01234	0.01141
0.01333	0.01381	0.00790	0.01235	0.01135
0.01367	0.01379	0.00787	0.01236	0.01134
0.01400	0.01375	0.00781	0.01235	0.01131
0.01433	0.01370	0.00765	0.01234	0.01123
0.01467	0.01355	0.00761	0.01236	0.01117
0.01500	0.01352	0.00742	0.01239	0.01111
0.01533	0.01348	0.00738	0.01240	0.01109
0.01567	0.01341	0.00722	0.01238	0.01100
0.01600	0.01332	0.00714	0.01238	0.01095
0.01633	0.01325	0.00706	0.01240	0.01090
0.01667	0.01322	0.00701	0.01240	0.01088
0.01700	0.01322	0.00678	0.01238	0.01079
0.01733	0.01306	0.00675	0.01232	0.01071
0.01767	0.01300	0.00670	0.01225	0.01065
0.01800	0.01297	0.00654	0.01224	0.01058
0.01833	0.01292	0.00653	0.01224	0.01056
0.01867	0.01283	0.00651	0.01206	0.01046
0.01900	0.01279	0.00645	0.01200	0.01041
0.01933	0.01271	0.00638	0.01197	0.01035
0.01967	0.01267	0.00631	0.01197	0.01031

Tabel 4.28. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit D.1

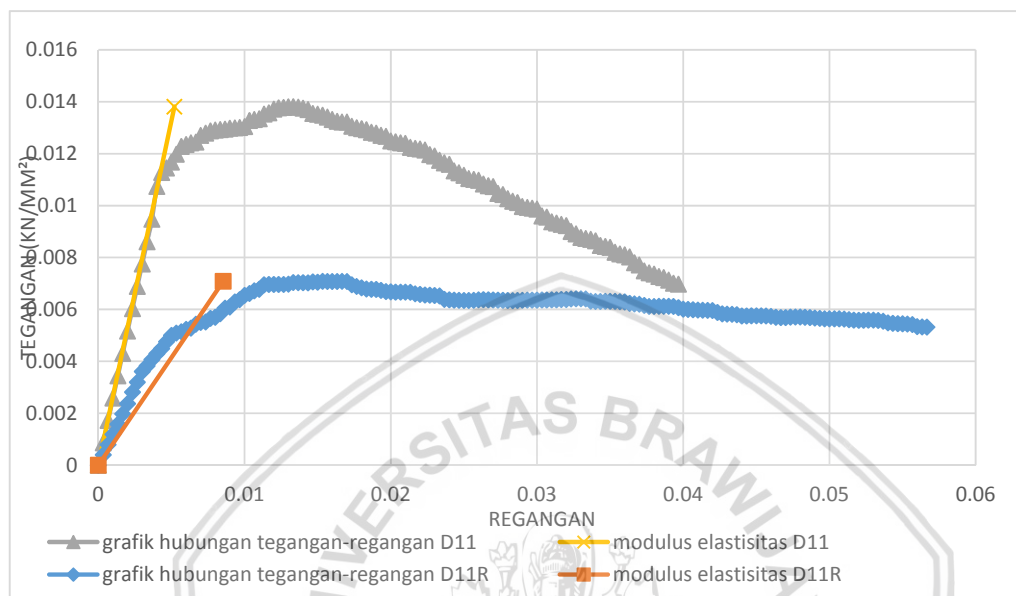
Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0	0	0	0	0
0.00033	0.00040	0.00033	0.00028	0.00033
0.00067	0.00079	0.00065	0.00056	0.00067
0.00100	0.00119	0.00098	0.00085	0.00100
0.00133	0.00158	0.00152	0.00113	0.00141

Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.00167	0.00198	0.00200	0.00141	0.00180
0.00200	0.00237	0.00261	0.00165	0.00221
0.00233	0.00281	0.00365	0.00173	0.00273
0.00267	0.00320	0.00447	0.00271	0.00346
0.00300	0.00361	0.00556	0.00259	0.00392
0.00333	0.00383	0.00704	0.00310	0.00466
0.00367	0.00407	0.00736	0.00369	0.00504
0.00400	0.00430	0.00778	0.00446	0.00551
0.00433	0.00449	0.00789	0.00549	0.00596
0.00467	0.00476	0.00792	0.00560	0.00610
0.00500	0.00500	0.00794	0.00619	0.00638
0.00533	0.00509	0.00795	0.00647	0.00650
0.00567	0.00514	0.00796	0.00671	0.00660
0.00600	0.00523	0.00783	0.00698	0.00668
0.00633	0.00528	0.00781	0.00700	0.00670
0.00667	0.00543	0.00778	0.00747	0.00690
0.00700	0.00550	0.00770	0.00765	0.00695
0.00733	0.00552	0.00769	0.00777	0.00699
0.00767	0.00566	0.00768	0.00794	0.00709
0.00800	0.00570	0.00756	0.00803	0.00710
0.00833	0.00584	0.00751	0.00812	0.00716
0.00867	0.00605	0.00742	0.00816	0.00721
0.00900	0.00609	0.00735	0.00827	0.00724
0.00933	0.00629	0.00719	0.00834	0.00727
0.00967	0.00637	0.00714	0.00836	0.00729
0.01000	0.00654	0.00687	0.00837	0.00726
0.01033	0.00661	0.00670	0.00838	0.00723
0.01067	0.00672	0.00661	0.00839	0.00724
0.01100	0.00678	0.00648	0.00840	0.00722
0.01133	0.00695	0.00646	0.00840	0.00727
0.01167	0.00696	0.00635	0.00839	0.00723
0.01200	0.00696	0.00631	0.00837	0.00721
0.01233	0.00696	0.00626	0.00836	0.00720
0.01267	0.00696	0.00622	0.00826	0.00715
0.01300	0.00698	0.00624	0.00824	0.00715
0.01333	0.00704	0.00617	0.00823	0.00715
0.01367	0.00703	0.00615	0.00816	0.00711
0.01400	0.00703	0.00612	0.00811	0.00709
0.01433	0.00703	0.00610	0.00810	0.00708
0.01467	0.00706	0.00610	0.00807	0.00708
0.01500	0.00705	0.00609	0.00797	0.00703
0.01533	0.00708	0.00609	0.00794	0.00704
0.01567	0.00708	0.00608	0.00793	0.00703

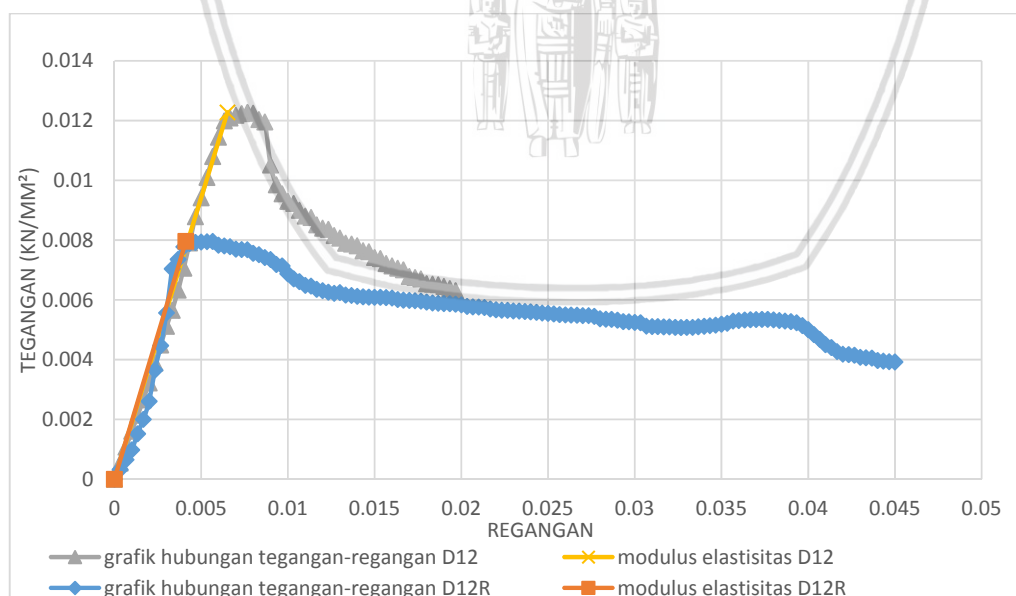
Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.01600	0.00708	0.00606	0.00792	0.00702
0.01633	0.00708	0.00602	0.00785	0.00698
0.01667	0.00708	0.00599	0.00782	0.00697
0.01700	0.00708	0.00598	0.00778	0.00695
0.01733	0.00695	0.00598	0.00777	0.00690
0.01767	0.00689	0.00596	0.00776	0.00687
0.01800	0.00683	0.00593	0.00774	0.00683
0.01833	0.00679	0.00590	0.00769	0.00679
0.01867	0.00678	0.00589	0.00768	0.00678
0.01900	0.00677	0.00588	0.00767	0.00677
0.01933	0.00673	0.00587	0.00766	0.00676
0.01967	0.00669	0.00585	0.00761	0.00672
0.02000	0.00668	0.00584	0.00759	0.00670
0.02033	0.00667	0.00578	0.00756	0.00667
0.02067	0.00667	0.00577	0.00756	0.00666
0.02100	0.00667	0.00576	0.00756	0.00666
0.02133	0.00666	0.00575	0.00748	0.00663
0.02167	0.00660	0.00569	0.00747	0.00659
0.02200	0.00658	0.00567	0.00746	0.00657
0.02233	0.00656	0.00565	0.00746	0.00656
0.02267	0.00655	0.00565	0.00744	0.00655
0.02300	0.00654	0.00563	0.00737	0.00651
0.02333	0.00652	0.00562	0.00736	0.00650
0.02367	0.00639	0.00561	0.00736	0.00645
0.02400	0.00637	0.00560	0.00735	0.00644
0.02433	0.00636	0.00559	0.00733	0.00643
0.02467	0.00635	0.00556	0.00734	0.00642
0.02500	0.00635	0.00555	0.00733	0.00641
0.02533	0.00635	0.00553	0.00727	0.00638
0.02567	0.00635	0.00551	0.00725	0.00637
0.02600	0.00637	0.00550	0.00725	0.00637
0.02633	0.00637	0.00549	0.00723	0.00637
0.02667	0.00637	0.00549	0.00723	0.00636
0.02700	0.00636	0.00548	0.00720	0.00635
0.02733	0.00636	0.00547	0.00716	0.00633
0.02767	0.00635	0.00545	0.00715	0.00632
0.02800	0.00635	0.00537	0.00714	0.00628
0.02833	0.00634	0.00535	0.00713	0.00627
0.02867	0.00635	0.00535	0.00712	0.00627
0.02900	0.00635	0.00532	0.00708	0.00625
0.02933	0.00636	0.00527	0.00706	0.00623
0.02967	0.00636	0.00527	0.00705	0.00622
0.03000	0.00636	0.00525	0.00704	0.00622

Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.03033	0.00636	0.00524	0.00703	0.00621
0.03067	0.00636	0.00512	0.00702	0.00617
0.03100	0.00637	0.00511	0.00701	0.00616
0.03133	0.00637	0.00510	0.00695	0.00614
0.03167	0.00638	0.00510	0.00692	0.00613
0.03200	0.00638	0.00510	0.00693	0.00613
0.03233	0.00641	0.00508	0.00692	0.00614
0.03267	0.00641	0.00508	0.00692	0.00614
0.03300	0.00641	0.00508	0.00691	0.00613
0.03333	0.00641	0.00508	0.00689	0.00613
0.03367	0.00632	0.00510	0.00687	0.00610
0.03400	0.00631	0.00511	0.00683	0.00609
0.03433	0.00631	0.00514	0.00683	0.00609
0.03467	0.00631	0.00516	0.00682	0.00610
0.03500	0.00631	0.00519	0.00675	0.00609
0.03533	0.00631	0.00522	0.00675	0.00610
0.03567	0.00630	0.00529	0.00673	0.00611
0.03600	0.00629	0.00531	0.00669	0.00610
0.03633	0.00623	0.00533	0.00668	0.00608
0.03667	0.00622	0.00534	0.00660	0.00605
0.03700	0.00620	0.00535	0.00660	0.00605
0.03733	0.00616	0.00535	0.00659	0.00603
0.03767	0.00612	0.00535	0.00657	0.00601
0.03800	0.00612	0.00533	0.00651	0.00599
0.03833	0.00612	0.00531	0.00649	0.00597
0.03867	0.00612	0.00529	0.00648	0.00597
0.03900	0.00612	0.00527	0.00647	0.00595
0.03933	0.00611	0.00524	0.00646	0.00594
0.03967	0.00607	0.00514	0.00644	0.00589
0.04000	0.00601	0.00501	0.00639	0.00580
0.04033	0.00600	0.00484	0.00638	0.00574
0.04067	0.00598	0.00468	0.00637	0.00568
0.04100	0.00598	0.00450	0.00636	0.00561
0.04133	0.00597	0.00441	0.00635	0.00558
0.04167	0.00596	0.00427	0.00635	0.00553
0.04200	0.00596	0.00419	0.00633	0.00549
0.04233	0.00589	0.00417	0.00632	0.00546
0.04267	0.00583	0.00415	0.00625	0.00541
0.04300	0.00582	0.00408	0.00625	0.00538
0.04333	0.00581	0.00406	0.00623	0.00537
0.04367	0.00579	0.00405	0.00622	0.00535
0.04400	0.00575	0.00398	0.00621	0.00531
0.04433	0.00575	0.00395	0.00617	0.00529

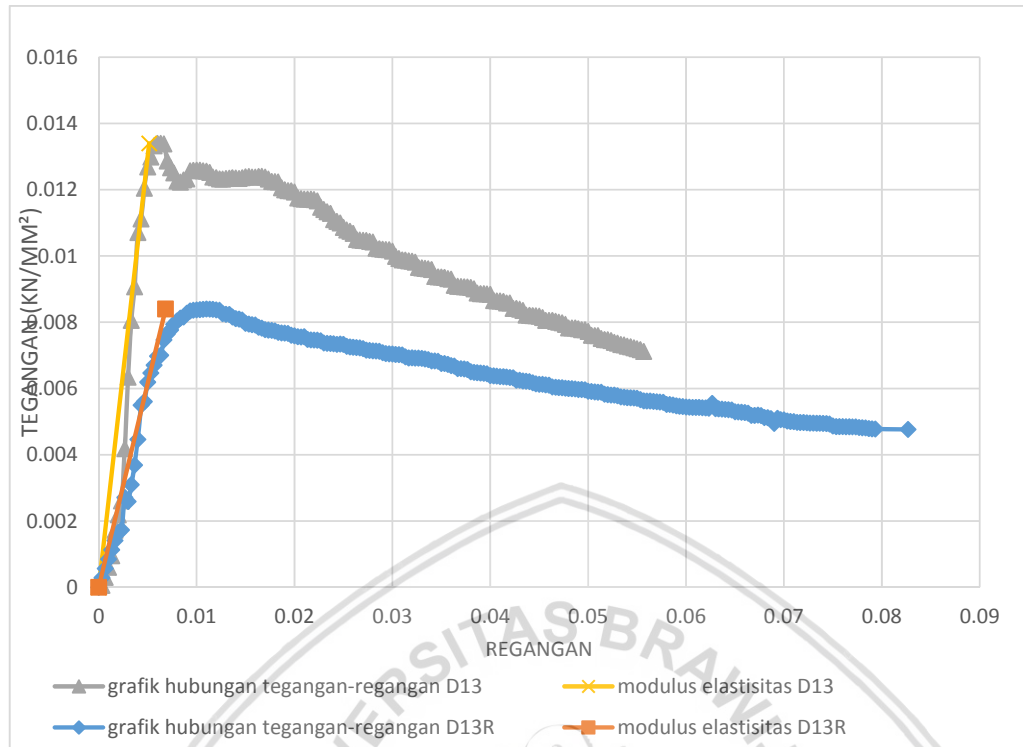
Regangan	D.1.1	D.1.2	D.1.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.04467	0.00575	0.00394	0.00614	0.00528
0.04500	0.00576	0.00392	0.00613	0.00527



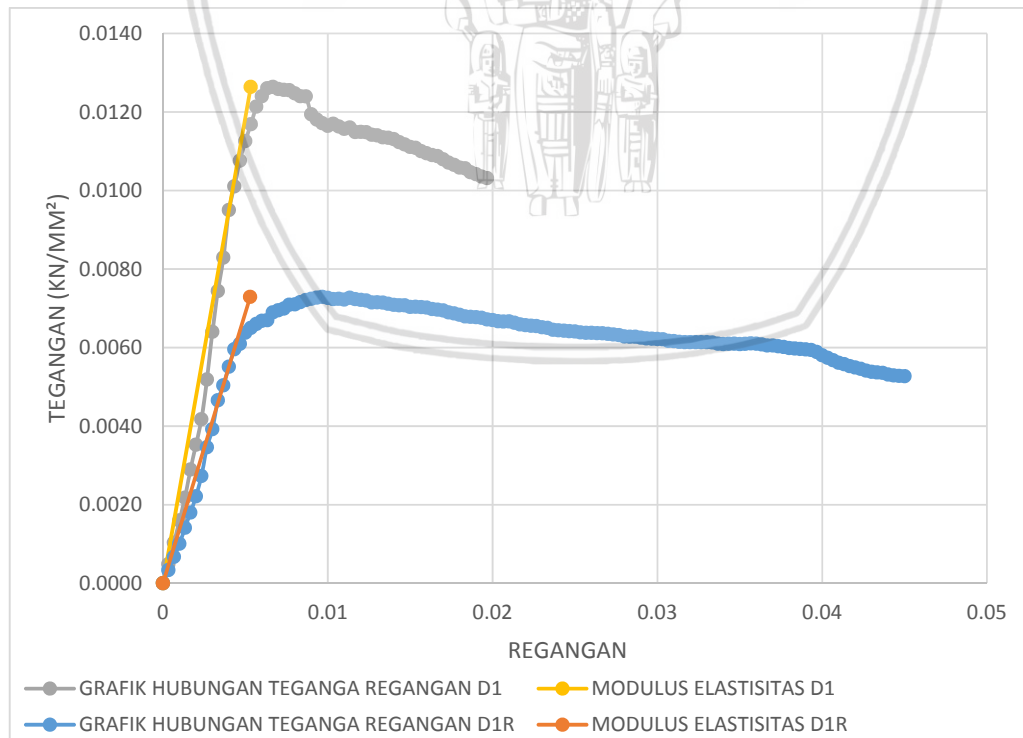
Gambar 4.30. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.1 dengan kolom retrofit D.1.1



Gambar 4.31. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.2 dengan kolom retrofit D.1.2



Gambar 4.32. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.3 dengan kolom retrofit D.1.3



Gambar 4.33. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1

Nilai modulus elastisitas pada kolom asli D.1 dan kolom retrofit D.1 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit D.1.1, D.1.2 dan D.1.3, bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak memiliki nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom asli D.1 sebesar 2.4097 kN/mm^2 , sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit D.1 sebesar 1.3777 kN/mm^2 . Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan elastisitas pada kolom retrofit D.1 sebesar 42.83 % dari nilai elastisitas kolom asli D.1.

4.6.2.4 Kolom Asli B.2 – Kolom Retrofit D.2

Tabel 4.29. Tabel tegangan dan regangan kolom asli D.2

Regangan mm	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Tegangan kN/mm^2	Tegangan kN/mm^2	Tegangan kN/mm^2	Tegangan kN/mm^2
0	0	0	0	0
0.00033	0.00032	0.00050	0.01072	0.00384
0.00067	0.00063	0.00099	0.01164	0.00442
0.00100	0.00095	0.00149	0.01224	0.00489
0.00133	0.00127	0.00198	0.01265	0.00530
0.00167	0.00159	0.00248	0.01317	0.00575
0.00200	0.00190	0.00297	0.01327	0.00605
0.00233	0.00222	0.00347	0.01331	0.00633
0.00267	0.00225	0.00396	0.01334	0.00652
0.00300	0.00276	0.00446	0.01396	0.00706
0.00333	0.00283	0.00495	0.01423	0.00734
0.00367	0.00302	0.00894	0.01439	0.00878
0.00400	0.00000	0.01045	0.01447	0.00831
0.00433	0.00061	0.01056	0.01448	0.00855
0.00467	0.00123	0.01103	0.01449	0.00891
0.00500	0.00184	0.01139	0.01458	0.00927
0.00533	0.00245	0.01215	0.01468	0.00976
0.00567	0.00307	0.01236	0.01469	0.01004
0.00600	0.00368	0.01245	0.01471	0.01028
0.00633	0.00429	0.01312	0.01476	0.01072
0.00667	0.00491	0.01251	0.01483	0.01075
0.00700	0.00552	0.01262	0.01481	0.01098
0.00733	0.00613	0.01287	0.01478	0.01126
0.00767	0.00589	0.01302	0.01476	0.01122
0.00800	0.00590	0.01374	0.01475	0.01146
0.00833	0.00610	0.01388	0.01456	0.01151
0.00867	0.00665	0.01440	0.01438	0.01181
0.00900	0.00722	0.01451	0.01430	0.01201

Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.00933	0.00799	0.01484	0.01406	0.01230
0.00967	0.00866	0.01491	0.01396	0.01251
0.01000	0.00872	0.01494	0.01383	0.01250
0.01033	0.00916	0.01496	0.01373	0.01262
0.01067	0.00992	0.01498	0.01376	0.01289
0.01100	0.01027	0.01459	0.01373	0.01286
0.01133	0.01067	0.01467	0.01370	0.01301
0.01167	0.01074	0.01471	0.01339	0.01294
0.01200	0.01079	0.01503	0.01326	0.01303
0.01233	0.01117	0.01506	0.01339	0.01321
0.01267	0.01151	0.01520	0.01317	0.01330
0.01300	0.01160	0.01522	0.01317	0.01333
0.01333	0.01198	0.01520	0.01308	0.01342
0.01367	0.01212	0.01517	0.01298	0.01342
0.01400	0.01250	0.01499	0.01288	0.01345
0.01433	0.01285	0.01494	0.01285	0.01354
0.01467	0.01315	0.01490	0.01283	0.01363
0.01500	0.01365	0.01486	0.01282	0.01378
0.01533	0.01374	0.01470	0.01280	0.01375
0.01567	0.01416	0.01468	0.01278	0.01387
0.01600	0.01449	0.01466	0.01259	0.01391
0.01633	0.01464	0.01442	0.01265	0.01390
0.01667	0.01462	0.01426	0.01256	0.01381
0.01700	0.01460	0.01419	0.01256	0.01378
0.01733	0.01447	0.01401	0.01251	0.01366
0.01767	0.01438	0.01393	0.01221	0.01350
0.01800	0.01437	0.01364	0.01219	0.01340
0.01833	0.01435	0.01358	0.01221	0.01338
0.01867	0.01433	0.01335	0.01217	0.01328
0.01900	0.01431	0.01328	0.01215	0.01325
0.01933	0.01431	0.01327	0.01212	0.01323
0.01967	0.01429	0.01324	0.01212	0.01322
0.02000	0.01426	0.01303	0.01210	0.01313
0.02033	0.01419	0.01299	0.01201	0.01306
0.02067	0.01409	0.01271	0.01191	0.01290
0.02100	0.01388	0.01263	0.01188	0.01279
0.02133	0.01374	0.01259	0.01185	0.01273
0.02167	0.01371	0.01256	0.01185	0.01270
0.02200	0.01368	0.01236	0.01183	0.01263
0.02233	0.01367	0.01225	0.01183	0.01258
0.02267	0.01352	0.01202	0.01181	0.01245
0.02300	0.01349	0.01197	0.01181	0.01242
0.02333	0.01347	0.01192	0.01178	0.01239

Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.02367	0.01345	0.01165	0.01169	0.01227
0.02400	0.01324	0.01149	0.01162	0.01212
0.02433	0.01317	0.01133	0.01158	0.01203
0.02467	0.01311	0.01130	0.01155	0.01199
0.02500	0.01297	0.01110	0.01153	0.01186
0.02533	0.01290	0.01098	0.01151	0.01180
0.02567	0.01272	0.01096	0.01149	0.01172
0.02600	0.01268	0.01072	0.01149	0.01163
0.02633	0.01259	0.01064	0.01146	0.01156
0.02667	0.01235	0.01049	0.01144	0.01143
0.02700	0.01231	0.01045	0.01141	0.01139
0.02733	0.01227	0.01041	0.01127	0.01132
0.02767	0.01208	0.01021	0.01124	0.01117
0.02800	0.01203	0.01015	0.01120	0.01113
0.02833	0.01167	0.01014	0.01119	0.01100
0.02867	0.01152	0.01010	0.01118	0.01093
0.02900	0.01143	0.00985	0.01117	0.01082
0.02933	0.01136	0.00981	0.01117	0.01078
0.02967	0.01121	0.00978	0.01117	0.01072
0.03000	0.01105	0.00956	0.01117	0.01059
0.03033	0.01087	0.00953	0.01115	0.01052
0.03067	0.01076	0.00951	0.01098	0.01041
0.03100	0.01059	0.00949	0.01094	0.01034
0.03133	0.01051	0.00928	0.01090	0.01023
0.03167	0.01026	0.00926	0.01089	0.01013
0.03200	0.01022	0.00921	0.01082	0.01008
0.03233	0.01008	0.00901	0.01080	0.00997
0.03267	0.00994	0.00899	0.01078	0.00991
0.03300	0.00964	0.00899	0.01078	0.00980
0.03333	0.00943	0.00893	0.01068	0.00968
0.03367	0.00935	0.00881	0.01062	0.00959
0.03400	0.00908	0.00877	0.01056	0.00947
0.03433	0.00885	0.00874	0.01051	0.00937
0.03467	0.00881	0.00860	0.01051	0.00931
0.03500	0.00857	0.00854	0.01051	0.00921
0.03533	0.00839	0.00848	0.01050	0.00912
0.03567	0.00831	0.00834	0.01049	0.00905
0.03600	0.00826	0.00833	0.01045	0.00901
0.03633	0.00806	0.00828	0.01027	0.00887
0.03667	0.00802	0.00815	0.01021	0.00879
0.03700	0.00783	0.00814	0.01020	0.00872
0.03733	0.00758	0.00812	0.01020	0.00863
0.03767	0.00744	0.00795	0.01020	0.00853

Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.03800	0.00731	0.00792	0.01020	0.00848

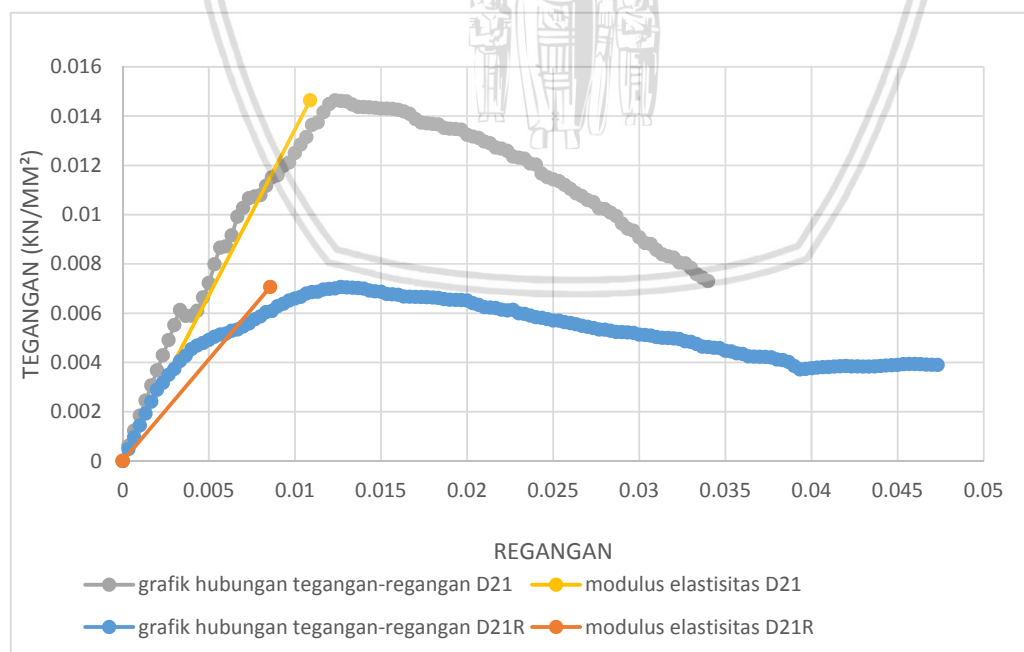
Tabel 4.30. Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit D.2

Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0	0	0	0	0
0.00033	0.00048	0.00027	0.00215	0.00097
0.00067	0.00096	0.00043	0.00325	0.00155
0.00100	0.00144	0.00080	0.00402	0.00209
0.00133	0.00193	0.00110	0.00456	0.00253
0.00167	0.00241	0.00155	0.00485	0.00294
0.00200	0.00289	0.00199	0.00515	0.00334
0.00233	0.00317	0.00233	0.00526	0.00359
0.00267	0.00349	0.00279	0.00549	0.00392
0.00300	0.00373	0.00310	0.00567	0.00417
0.00333	0.00406	0.00336	0.00575	0.00439
0.00367	0.00427	0.00364	0.00590	0.00460
0.00400	0.00454	0.00352	0.00603	0.00470
0.00433	0.00469	0.00367	0.00616	0.00484
0.00467	0.00479	0.00398	0.00624	0.00501
0.00500	0.00491	0.00396	0.00630	0.00506
0.00533	0.00504	0.00396	0.00645	0.00515
0.00567	0.00513	0.00403	0.00663	0.00526
0.00600	0.00517	0.00410	0.00671	0.00533
0.00633	0.00528	0.00412	0.00684	0.00542
0.00667	0.00534	0.00416	0.00697	0.00549
0.00700	0.00546	0.00420	0.00700	0.00555
0.00733	0.00558	0.00423	0.00700	0.00560
0.00767	0.00575	0.00424	0.00711	0.00570
0.00800	0.00587	0.00430	0.00715	0.00577
0.00833	0.00604	0.00433	0.00720	0.00586
0.00867	0.00609	0.00436	0.00722	0.00589
0.00900	0.00628	0.00437	0.00726	0.00597
0.00933	0.00638	0.00438	0.00733	0.00603
0.00967	0.00651	0.00448	0.00743	0.00614
0.01000	0.00660	0.00449	0.00746	0.00618
0.01033	0.00666	0.00450	0.00756	0.00624
0.01067	0.00680	0.00451	0.00763	0.00631
0.01100	0.00685	0.00452	0.00766	0.00634
0.01133	0.00687	0.00452	0.00768	0.00636

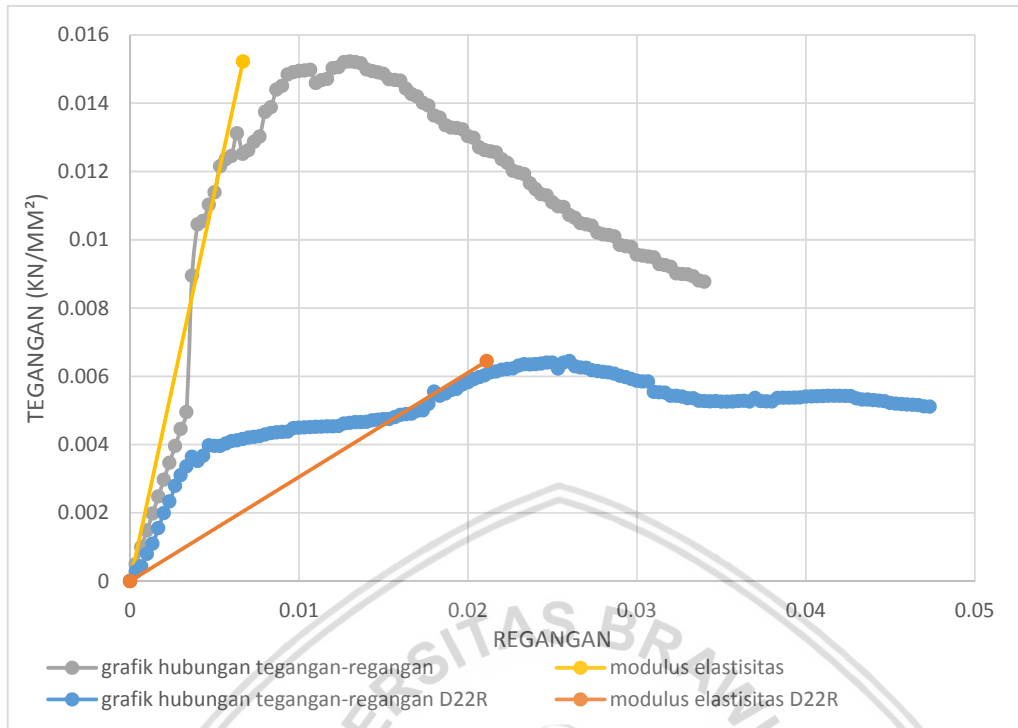
Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.01167	0.00696	0.00453	0.00769	0.00640
0.01200	0.00699	0.00453	0.00770	0.00641
0.01233	0.00701	0.00454	0.00769	0.00641
0.01267	0.00706	0.00461	0.00760	0.00643
0.01300	0.00705	0.00464	0.00761	0.00643
0.01333	0.00703	0.00465	0.00761	0.00643
0.01367	0.00702	0.00466	0.00762	0.00643
0.01400	0.00700	0.00467	0.00763	0.00643
0.01433	0.00692	0.00471	0.00764	0.00642
0.01467	0.00689	0.00473	0.00765	0.00642
0.01500	0.00687	0.00474	0.00765	0.00642
0.01533	0.00678	0.00475	0.00762	0.00638
0.01567	0.00677	0.00480	0.00750	0.00635
0.01600	0.00674	0.00487	0.00750	0.00637
0.01633	0.00667	0.00489	0.00734	0.00630
0.01667	0.00667	0.00490	0.00728	0.00628
0.01700	0.00666	0.00499	0.00721	0.00629
0.01733	0.00665	0.00500	0.00719	0.00628
0.01767	0.00665	0.00519	0.00717	0.00634
0.01800	0.00664	0.00555	0.00716	0.00645
0.01833	0.00662	0.00543	0.00715	0.00640
0.01867	0.00657	0.00549	0.00712	0.00640
0.01900	0.00655	0.00560	0.00705	0.00640
0.01933	0.00654	0.00563	0.00704	0.00640
0.01967	0.00653	0.00576	0.00703	0.00644
0.02000	0.00651	0.00582	0.00702	0.00645
0.02033	0.00641	0.00591	0.00695	0.00642
0.02067	0.00634	0.00597	0.00693	0.00641
0.02100	0.00625	0.00603	0.00692	0.00640
0.02133	0.00623	0.00611	0.00690	0.00641
0.02167	0.00621	0.00614	0.00685	0.00640
0.02200	0.00614	0.00619	0.00683	0.00639
0.02233	0.00611	0.00621	0.00682	0.00638
0.02267	0.00614	0.00623	0.00681	0.00639
0.02300	0.00600	0.00631	0.00680	0.00637
0.02333	0.00597	0.00635	0.00679	0.00637
0.02367	0.00590	0.00634	0.00674	0.00633
0.02400	0.00584	0.00635	0.00672	0.00630
0.02433	0.00581	0.00637	0.00671	0.00630
0.02467	0.00576	0.00640	0.00671	0.00629
0.02500	0.00570	0.00640	0.00669	0.00626
0.02533	0.00569	0.00623	0.00665	0.00619
0.02567	0.00563	0.00640	0.00659	0.00621

Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.02600	0.00560	0.00644	0.00658	0.00621
0.02633	0.00555	0.00629	0.00656	0.00613
0.02667	0.00549	0.00626	0.00651	0.00608
0.02700	0.00544	0.00625	0.00647	0.00605
0.02733	0.00540	0.00618	0.00645	0.00601
0.02767	0.00533	0.00615	0.00644	0.00597
0.02800	0.00533	0.00613	0.00637	0.00594
0.02833	0.00529	0.00611	0.00635	0.00591
0.02867	0.00524	0.00607	0.00633	0.00588
0.02900	0.00523	0.00601	0.00632	0.00585
0.02933	0.00522	0.00597	0.00631	0.00583
0.02967	0.00520	0.00592	0.00630	0.00581
0.03000	0.00513	0.00587	0.00625	0.00575
0.03033	0.00511	0.00585	0.00623	0.00573
0.03067	0.00509	0.00585	0.00623	0.00572
0.03100	0.00503	0.00554	0.00619	0.00559
0.03133	0.00500	0.00553	0.00618	0.00557
0.03167	0.00499	0.00552	0.00610	0.00554
0.03200	0.00497	0.00543	0.00609	0.00550
0.03233	0.00495	0.00543	0.00608	0.00549
0.03267	0.00486	0.00541	0.00606	0.00544
0.03300	0.00484	0.00536	0.00600	0.00540
0.03333	0.00475	0.00536	0.00595	0.00535
0.03367	0.00464	0.00528	0.00593	0.00528
0.03400	0.00463	0.00527	0.00589	0.00526
0.03433	0.00460	0.00527	0.00577	0.00521
0.03467	0.00458	0.00527	0.00574	0.00520
0.03500	0.00448	0.00526	0.00573	0.00515
0.03533	0.00445	0.00526	0.00562	0.00511
0.03567	0.00437	0.00526	0.00560	0.00508
0.03600	0.00435	0.00527	0.00559	0.00507
0.03633	0.00425	0.00528	0.00555	0.00503
0.03667	0.00424	0.00526	0.00550	0.00500
0.03700	0.00423	0.00536	0.00548	0.00502
0.03733	0.00422	0.00527	0.00547	0.00499
0.03767	0.00420	0.00527	0.00546	0.00498
0.03800	0.00412	0.00526	0.00544	0.00494
0.03833	0.00409	0.00537	0.00540	0.00495
0.03867	0.00402	0.00537	0.00536	0.00492
0.03900	0.00386	0.00537	0.00535	0.00486
0.03933	0.00371	0.00537	0.00535	0.00481
0.03967	0.00373	0.00538	0.00532	0.00481
0.04000	0.00377	0.00540	0.00528	0.00482

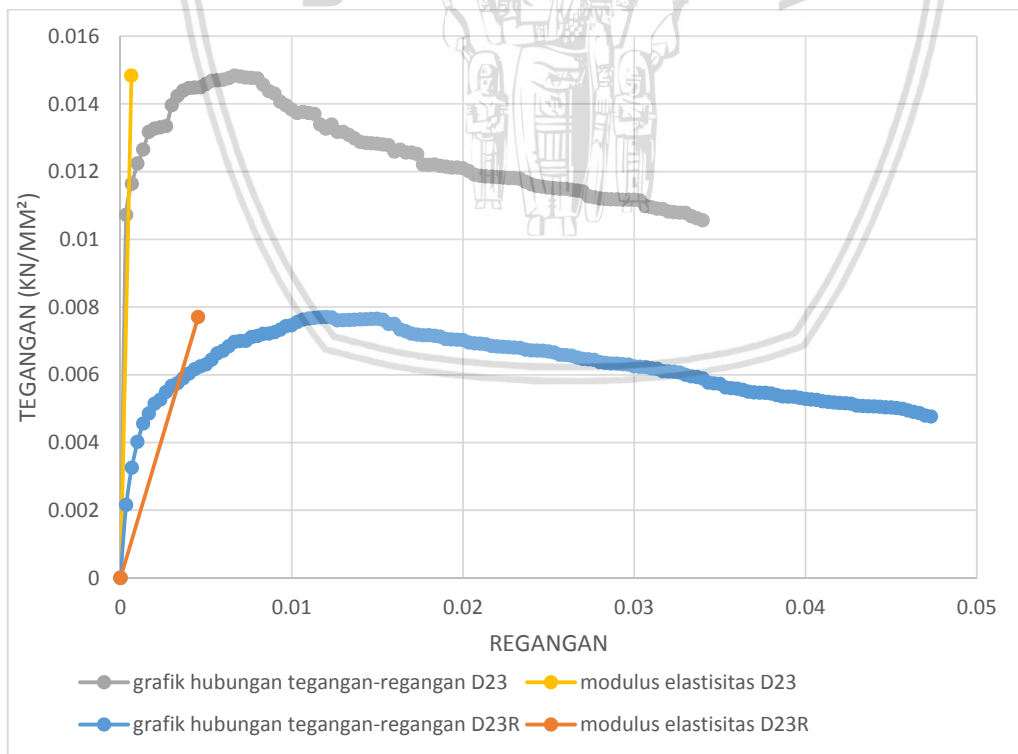
Regangan	D.2.1	D.2.2	D.2.3	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0.04033	0.00379	0.00541	0.00527	0.00482
0.04067	0.00381	0.00541	0.00525	0.00482
0.04100	0.00381	0.00542	0.00521	0.00482
0.04133	0.00383	0.00543	0.00520	0.00482
0.04167	0.00384	0.00543	0.00518	0.00482
0.04200	0.00386	0.00543	0.00516	0.00482
0.04233	0.00384	0.00542	0.00515	0.00480
0.04267	0.00384	0.00542	0.00515	0.00480
0.04300	0.00383	0.00535	0.00509	0.00476
0.04333	0.00383	0.00532	0.00508	0.00474
0.04367	0.00384	0.00532	0.00507	0.00474
0.04400	0.00386	0.00530	0.00506	0.00474
0.04433	0.00387	0.00529	0.00506	0.00474
0.04467	0.00389	0.00527	0.00504	0.00473
0.04500	0.00390	0.00522	0.00503	0.00472
0.04533	0.00393	0.00520	0.00501	0.00471
0.04567	0.00394	0.00519	0.00499	0.00470
0.04600	0.00394	0.00517	0.00494	0.00468
0.04633	0.00393	0.00516	0.00490	0.00466
0.04667	0.00391	0.00515	0.00486	0.00464
0.04700	0.00390	0.00512	0.00479	0.00461
0.04733	0.00390	0.00511	0.00477	0.00459



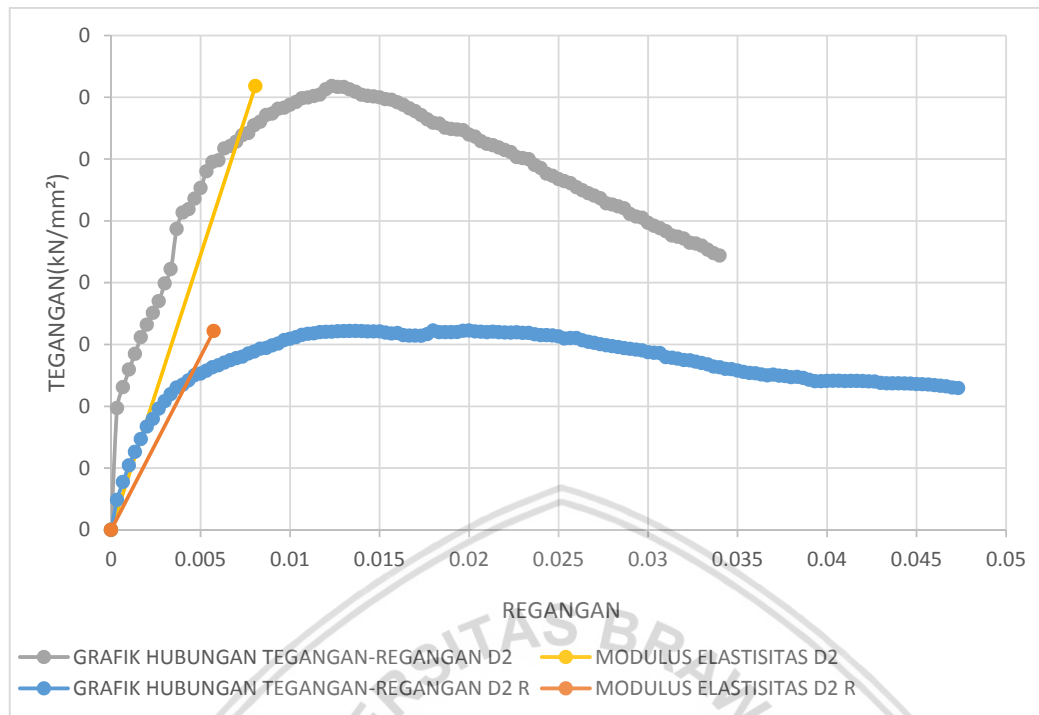
Gambar 4.34. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.1 dengan kolom retrofit D.2.1



Gambar 4.35. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.2 dengan kolom retrofit D.2.2



Gambar 4.36. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2.3 dengan kolom retrofit D.2.3



Gambar 4.37. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2

Nilai modulus elastisitas pada kolom asli D.2 dan kolom retrofit D.2 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit D.2.1, D.2.2 dan D.2.3, bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak memiliki nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom asli D.2 sebesar 1.8100 kN/mm², sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit D.2 sebesar 1.1226 kN/mm². Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan elastisitas pada kolom retrofit D.2 sebesar 32.27 % dari nilai elastisitas kolom asli D.2.

4.6.3 Daktilitas Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Analisis mengenai daktilitas antara kolom asli dengan kolom retrofit bertujuan untuk mengetahui nilai daktilitas pada kolom, daktilitas diperlukan pada batang atau bagian yang mungkin mengalami beban yang besar secara tiba-tiba, untuk mengetahui perubahan bentuk yang berlebihan dan memberikan tanda-tanda ancaman kerusakan

Nilai daktilitas didapatkan dari rumus :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Dimana :

$\mu\Delta$ = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

Δy = Deformasi leleh (mm)

Analisis data untuk mencari nilai daktilitas kolom asli dan kolom retrofit, diperlukan nilai deformasi ultimate yang didapatkan dari nilai daktilitas dengan menyamakan penurunan kapasitas beban aksial maksimum antara kolom asli dan kolom retrofit.

Tabel 4.31. Tabel daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit

Kolom		Gaya Tekan Maksimum	Δy	Beban Runtuh	% Beban Keruntuhan	Beban Runtuh	Δu	Daktilitas	Peningkatan Daktilitas
		kN	mm	kN		kN	mm		%
C1	Asli	191.8	1.06	159.5	83	159.5	4.60	4.34	-36
	Retrofit	242.4	2.13	143.7		201.6	5.90	2.78	
C2	Asli	184.5	1.02	122.4	73	135.4	11.54	11.26	-47
	Retrofit	255.5	1.21	187.5		187.5	7.30	6.01	
D1	Asli	181.4	1.57	148.4	82	148.4	5.90	3.76	94
	Retrofit	236.2	1.59	170.7		193.2	11.61	7.31	
D2	Asli	206.8	2.38	127.8	71	147.5	8.69	3.65	126
	Retrofit	208.5	1.72	148.7		148.7	14.20	8.26	

Contoh perhitungan daktilitas (Kolom asli C.1) :

Diketahui :

$$\Delta u = 4.60 \text{ mm}$$

$$\Delta y = 0.79 \text{ mm}$$

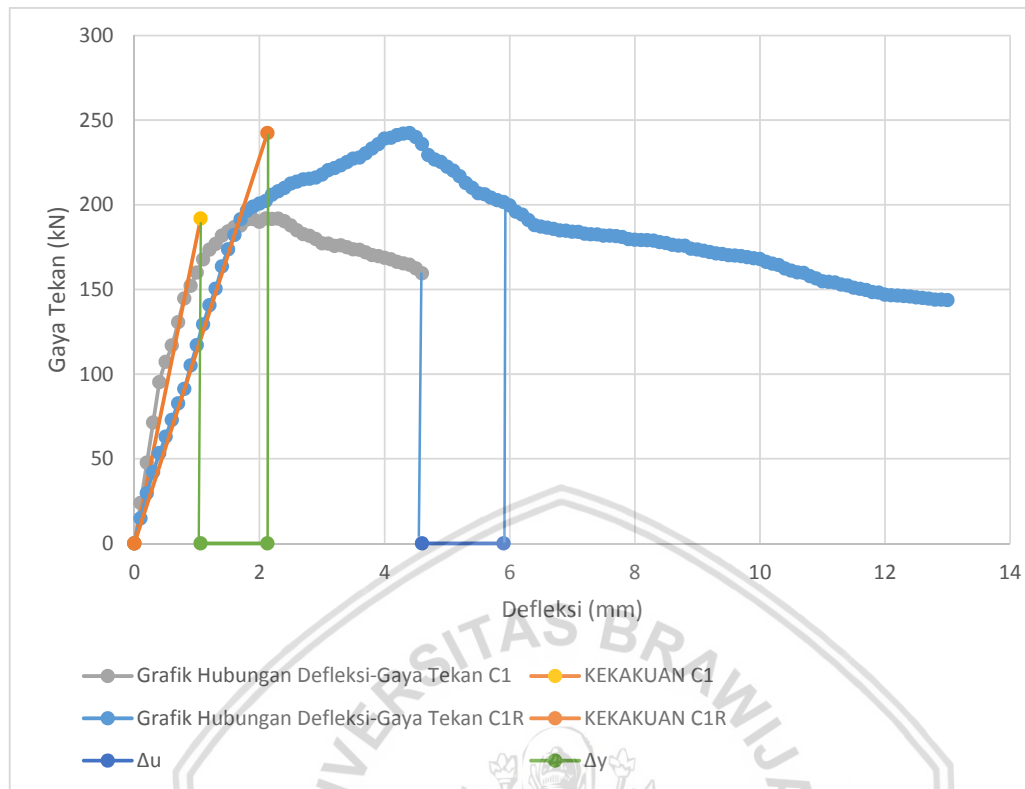
Dit : $\mu\Delta$

Jawab :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

$$\mu_{\Delta} = \frac{4.60}{0.79}$$

$$\mu_{\Delta} = 5.79$$



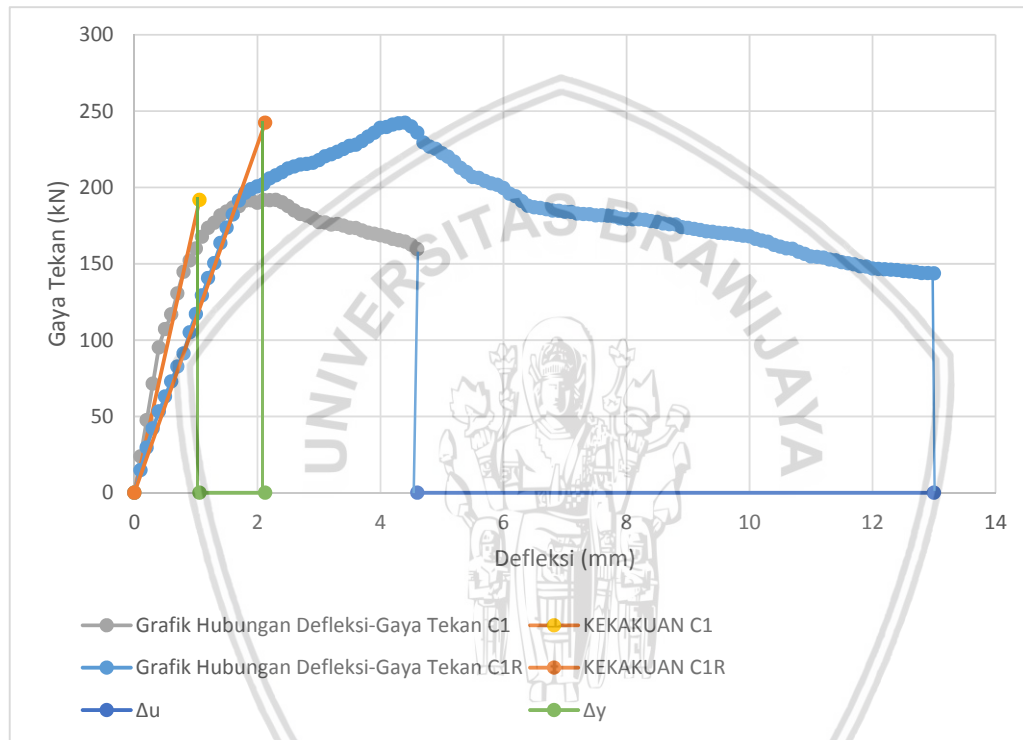
Gambar 4.38. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 83% beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli C.1 sebesar 5.79 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit C.1 sebesar 3.7, apabila di persentasikan maka terjadi penurunan daktilitas pada kolom retrofit C.1 sebesar 36% dari daktilitas kolom asli C.1.

Untuk kolom C.1 dapat kita lihat bahwa kolom retrofit C.1 mampu berdeformasi yang cukup panjang hampir 13 mm. Namun karena metode penentuan titik deformasi ultimate dengan cara penentuan penurunan beban yang sama, maka deformasi ultimate yang dihasilkan dari kolom retrofit C.1 tidak sampai pada deformasi yang sesungguhnya bisa dihasilkan. Hal ini dikarenakan pada saat deformasi 4-6 mm beban turun tiba-tiba dengan cepat. Hal ini bisa terjadi karena susunan material penyusun dari kolom C.1 yang tidak bagus, berongga yang diakibatkan pada saat proses pengecoran yang sulit. Maka apabila deformasi ultimate yang diambil adalah deformasi puncak yang dihasilkan oleh kolom retrofit C.1, yang itu juga merupakan hasil dari rata-rata penurunan beban 50% dari masing-masing kolom retrofit C.1 berikut hasil yang didapatkan :

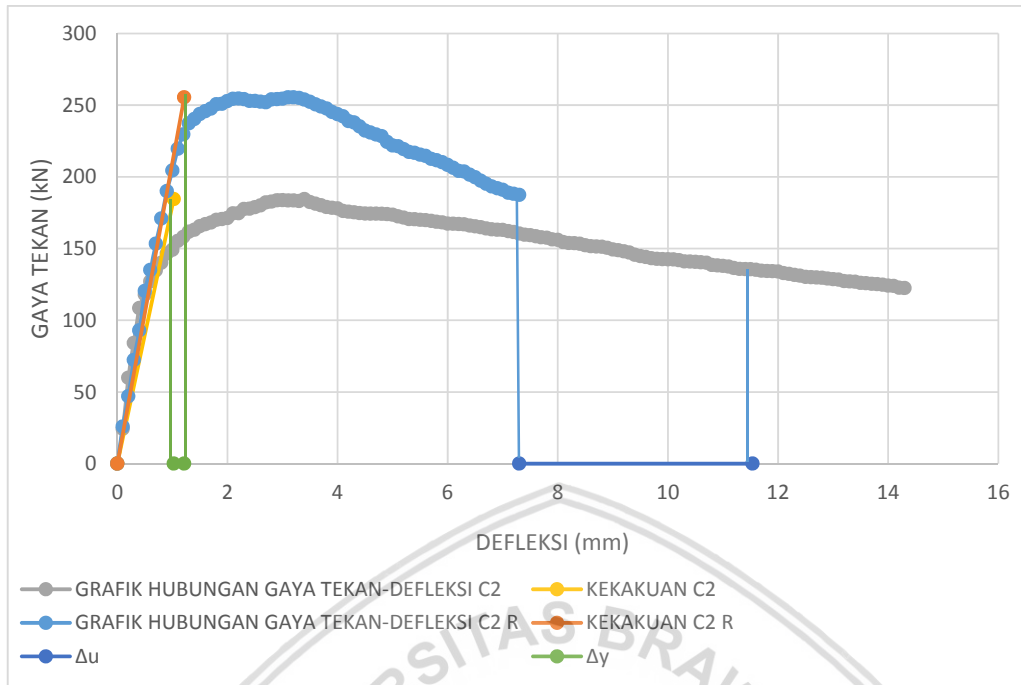
Tabel 4.32. Tabel daktilitas pada kolom C.1 asli dan kolom retrofit dengan penentuan deformasi ultimate pada beban paling akhir

Kolom	Gaya Tekan Maksimum	Δy	Δu	Daktilitas	Peningkatan Daktilitas
					%
C1	Asli	191.8	1.1	4.6	41
	Retrofit	242.4	2.1	13	



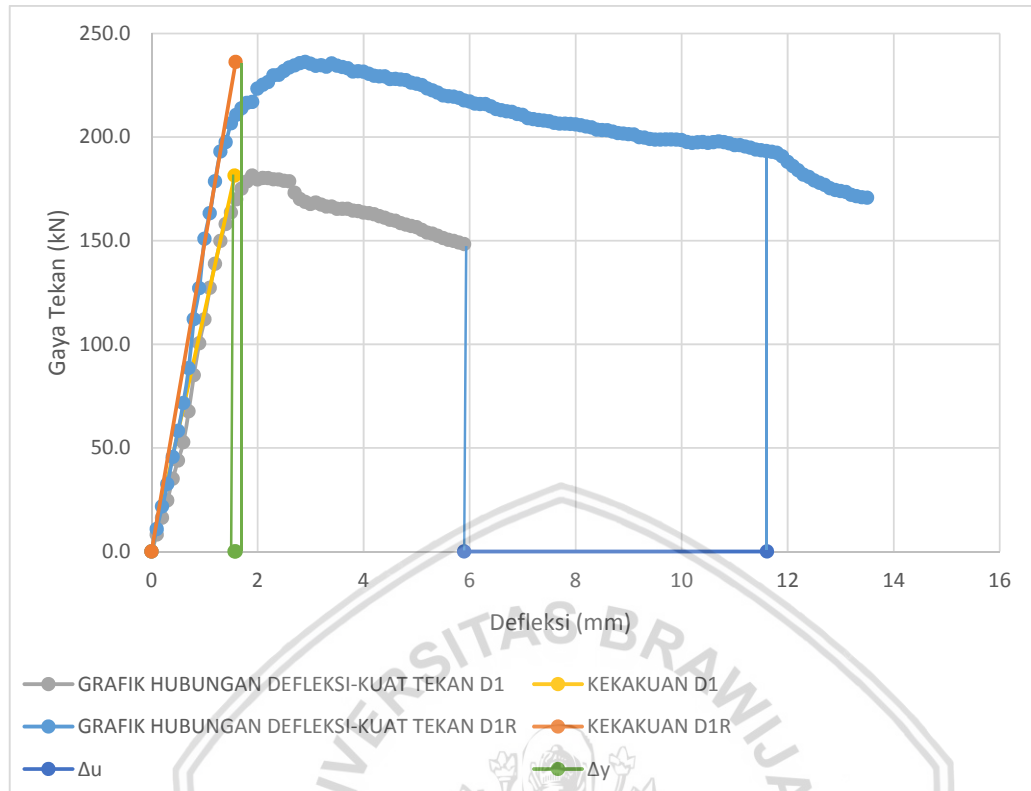
Gambar 4.39. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1 dengan penentuan deformasi ultimate pada beban paling akhir.

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate adalah deformasi pada saat beban akhir . Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli C.1 sebesar 4.34, sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit C.1 sebesar 6.11, apabila di persentasikan maka terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit C.1 sebesar 41% dari daktilitas kolom asli C.1. Sehingga data yang lebih valid digunakan adalah data yang ini.



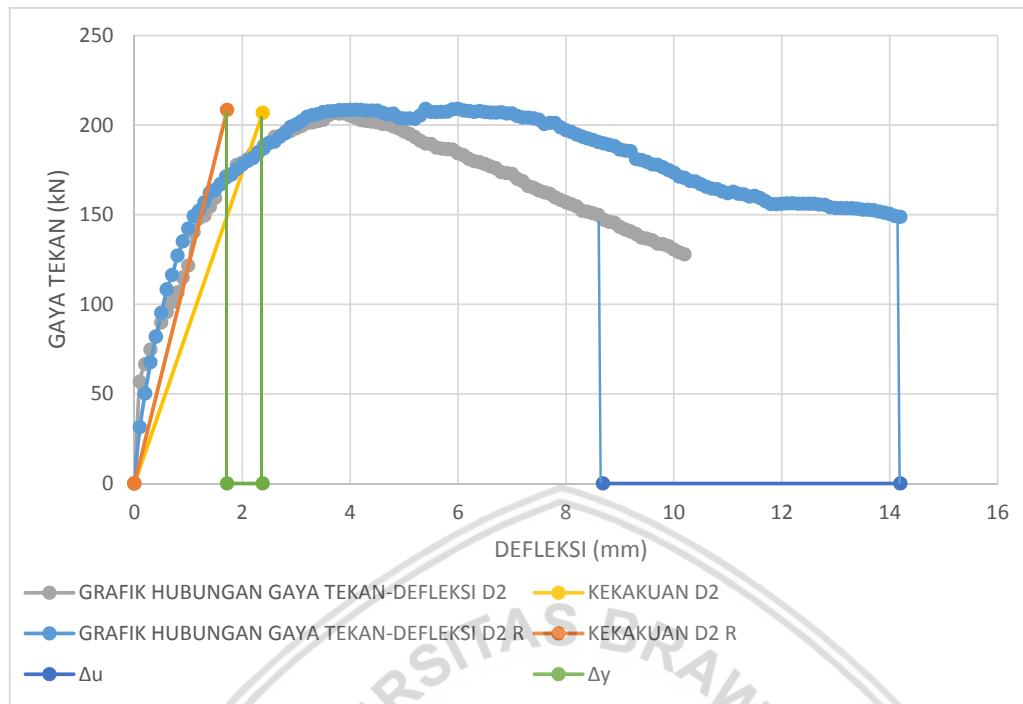
Gambar 4.40. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.2 dengan kolom retrofit C.2

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli C.2 dengan kolom retrofit C.2 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 73% beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli C.2 sebesar 15.02 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit C.2 sebesar 8.01, apabila di persentasikan maka terjadi penurunan daktilitas pada kolom retrofit C.2 sebesar 47% dari daktilitas kolom asli C.2.



Gambar 4.41. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 82% beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli D.1 sebesar 5.02 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit D.1 sebesar 9.75, apabila di persentasikan maka terjadi penurunan daktilitas pada kolom retrofit D.1 sebesar 94% dari daktilitas kolom asli D.1.



Gambar 4.42. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom asli D.2 dengan kolom retrofit D.2 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 71% beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli D.2 sebesar 4.87 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit D.2 sebesar 11.01, apabila di persentasikan maka terjadi penurunan daktilitas pada kolom retrofit D.2 sebesar 126% dari daktilitas kolom asli D.2.

4.7 Efektifitas Kolom Retrofit

4.7.1 Efektifitas Kolom Retrofit C1 dengan Kolom Retrofit C2

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan data dari penelitian perbaikan pada kolom asli C.1 dan kolom asli C.2 dengan metode *concrete jacketing*, digunakan variasi dengan kolom retrofit C.2 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 20 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 7.5 cm menghasilkan hasil yang lebih bagus dibandingkan dengan kolom retrofit C.1 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 20 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 5 cm.

Tabel 4.33. Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit C.1 dengan kolom retrofit C.2

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	Peningkatan Daktilitas (%)
1	C1	242.4	13	113.96	1.06	41
2	C2	255.5	7.3	210.30	1.95	-47

Dari hasil yang diperoleh dan dibandingkan antara variasi C.1 dan C.2 menunjukkan bahwa jenis kolom C.2 dengan variasi jarak sengkang 7.5 cm memiliki nilai gaya tekan maksimum yang sedikit lebih tinggi sebesar 5.4 % jika dibandingkan dengan kolom C.1. Sedangkan nilai kekakuan, dan modulus elastisitas yang juga lebih tinggi dibandingkan jenis kolom C.1 lebih besar masing-masing 84.54 % dan 83.86 % dibandingkan jenis kolom C.1. Namun kolom C.1 memiliki nilai daktilitas yang jauh lebih efektif dibandingkan dengan kolom C.2, dimana kolom C.1 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 41 % sedangkan kolom C.2 mengalami penurunan daktilitas sebesar 47%.

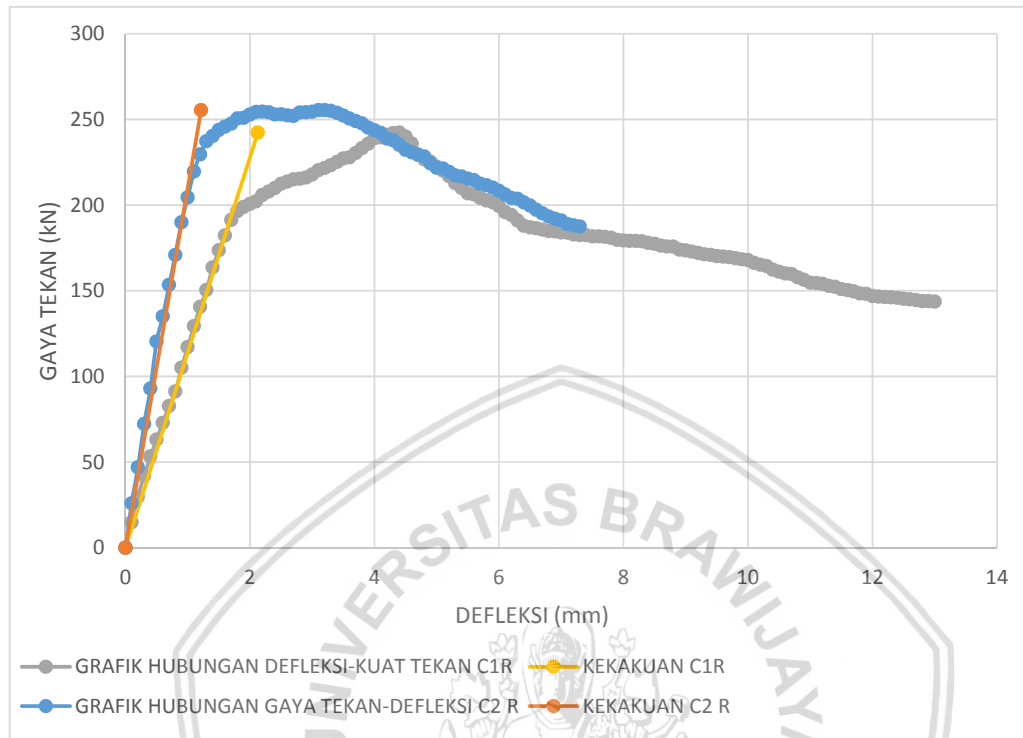
Untuk nilai efektifitas dari variasi jarak sengkang kolom C.1 dan C.2 diambil dari pertimbangan nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas dari masing-masing variasi kolom retrofit yang dibandingkan, bukan dari peningkatan nilai gaya tekan dan daktilitas dari kolom utama ke kolom retrofit. Hal ini dikarenakan nilai kekakuan dan modulus elastisitas selalu berbanding lurus dengan gaya tekan maksimum, apabila gaya tekan maksimum kolom retrofit yang dibandingkan lebih besar maka kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit tersebut akan lebih besar juga, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu nilai efektifitas diambil dari nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas.

Tabel 4.34. Tabel perbandingan efektifitas kolom retrofit C.1 dengan kolom retrofit C.2

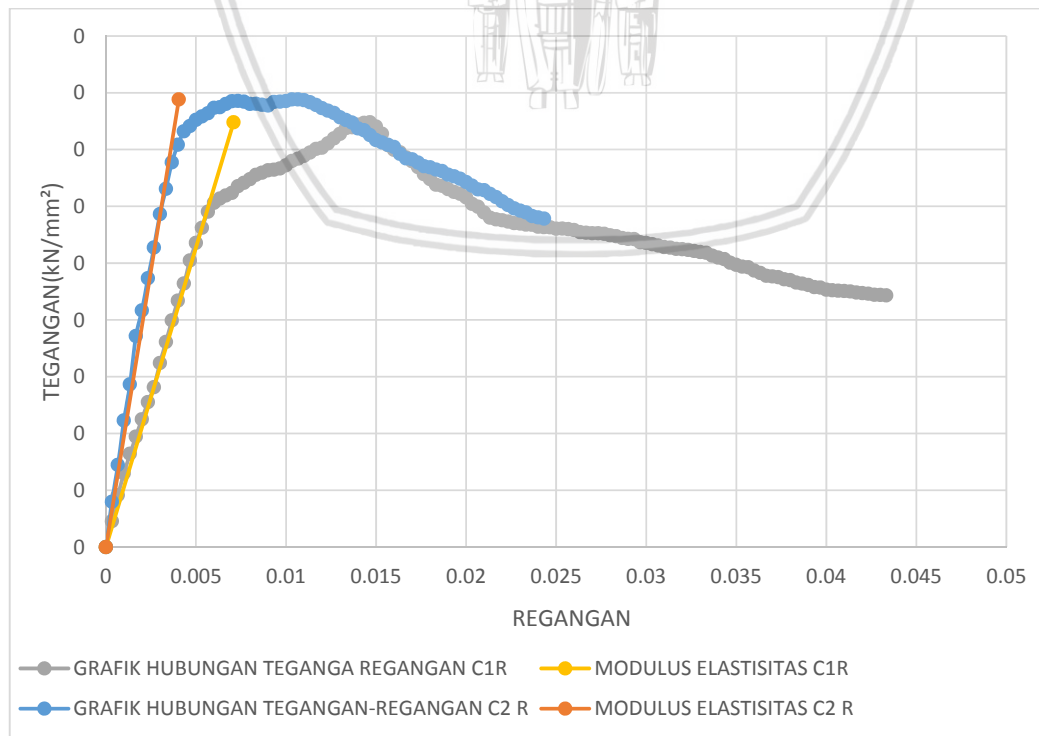
NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Efektifitas (%)	Peningkatan Daktilitas (%)	Efektifitas (%)
1	C1	242.4	-5.4	41	214.6
2	C2	255.5		-47	

Dari data – data yang telah dianalisis dan tercatat dalam tabel di atas, maka dapat disimpulkan kolom retrofit C.1 lebih efektif dibanding dengan kolom retrofit C.2. Karena

efektifitas peningkatan daktilitas C.1 terjadi sangat besar, sedangkan pada gaya tekan maksimum C.1 hanya selisih sedikit dibandingkan C.2.



Gambar 4.43. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit C.1-C.2



Gambar 4.44. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom kolom retrofit C.1-C.2

4.7.2 Efektifitas Kolom Retrofit D1 dengan Kolom Retrofit D2

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan data dari penelitian perbaikan pada kolom asli D.1 dan kolom asli D.2 dengan metode *concrete jacketing*, digunakan variasi kolom retrofit D.1 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 10 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 5 cm lebih efektif dibandingkan dengan kolom retrofit D.2 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 10 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 7.5 cm. Dari hasil yang diperoleh dan dibandingkan antara variasi D.1 dan D.2 menunjukkan bahwa jenis kolom D1 dengan variasi jarak sengkang 5 cm memiliki nilai gaya tekan maksimum, kekakuan, dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan jenis kolom D.2 dengan variasi jarak sengkang 7.5 cm.

Tabel 4.35. Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit D.1 dengan kolom retrofit D.2

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	Peningkatan Daktilitas (%)
1	D1	236.2	13.5	148.80	1.38	94
2	D2	208.5	14.2	121.24	1.12	126

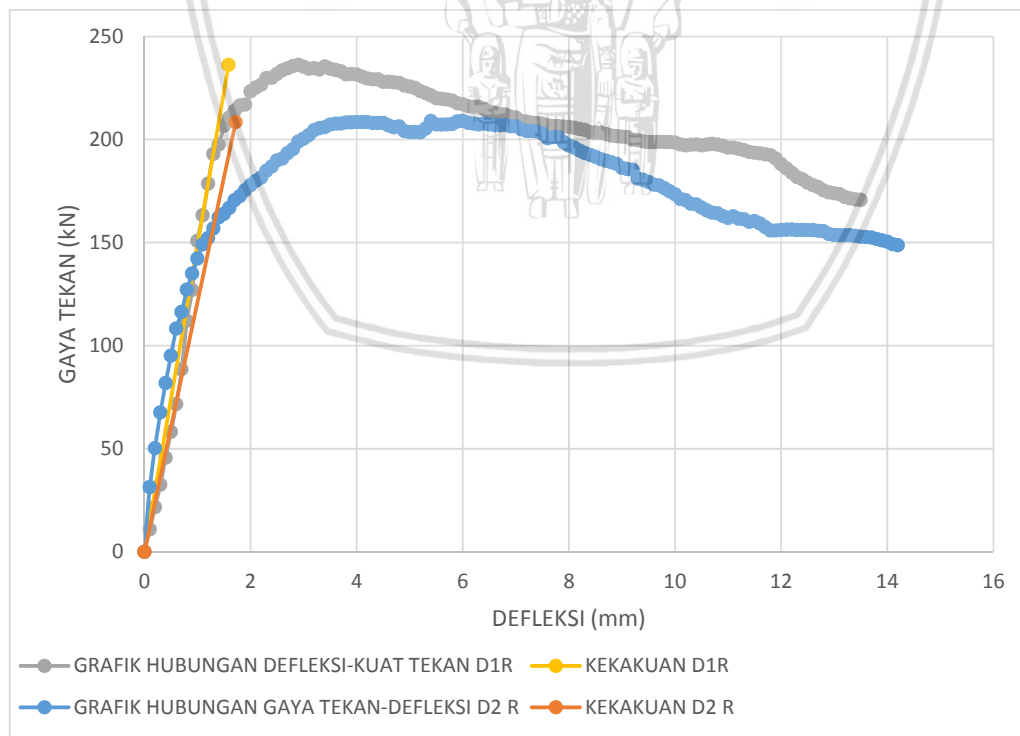
Jika disimpulkan, gaya tekan maksimum dari jenis kolom D.1 lebih besar 13.29 % dibandingkan jenis kolom D.2. Sedangkan nilai kekakuan dan modulus elastisitas dari jenis kolom D.1 lebih besar masing-masing 22.73 % dan 23.21 % dibandingkan jenis kolom D.2.

Untuk nilai efektifitas dari variasi jarak sengkang kolom D.1 dan D.2 diambil dari pertimbangan nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas dari masing-masing variasi kolom retrofit yang dibandingkan, bukan dari peningkatan nilai gaya tekan dan daktilitas dari kolom utama ke kolom retrofit. Hal ini dikarenakan nilai kekakuan dan modulus elastisitas selalu berbanding lurus dengan gaya tekan maksimum, apabila gaya tekan maksimum kolom retrofit yang dibandingkan lebih besar maka kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit tersebut akan lebih besar juga, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu nilai efektifitas diambil dari nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas.

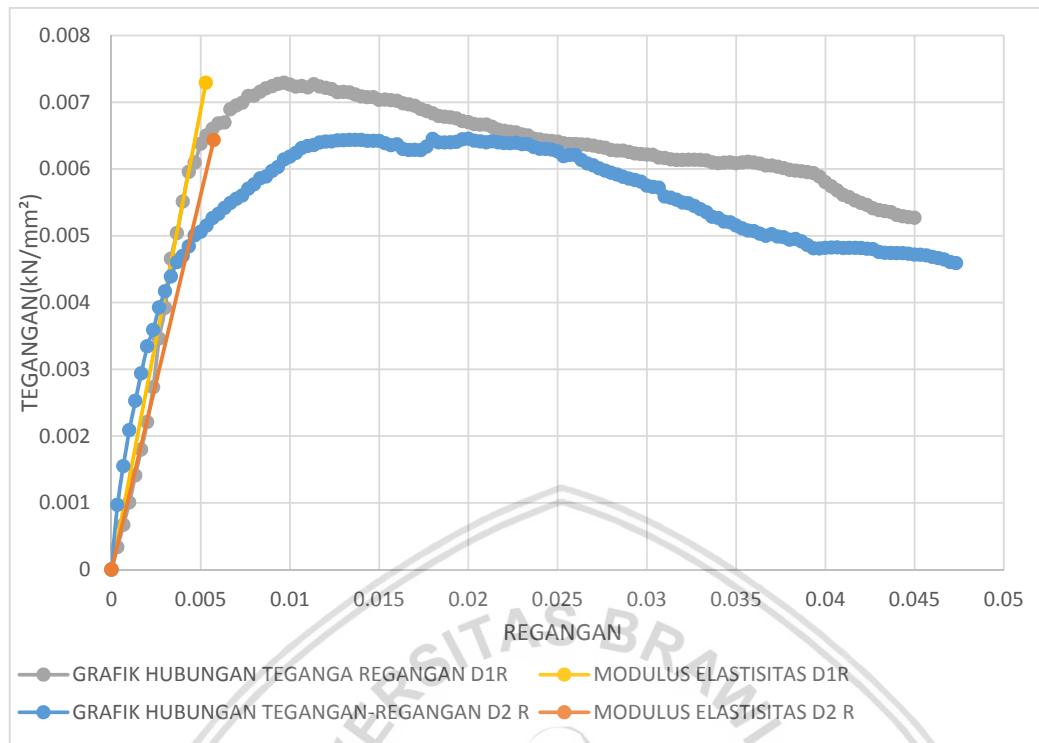
Tabel 4.36. Tabel perbandingan efektifitas kolom retrofit D.1 dengan kolom retrofit D.2

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Efektifitas (%)	Peningkatan Daktilitas (%)	Efektifitas (%)
1	D1	236.2	11.8	94	-33.8
2	D2	208.5		126	

Dari data – data yang telah dianalisis dan tercatat dalam tabel di atas, maka dapat disimpulkan kolom retrofit D.2 lebih efektif dibanding dengan kolom retrofit D.1. Karena efektifitas peningkatan daktilitas D.2 lebih besar 33.8 % dibandingkan peningkatan gaya tekan maksimum D.1 yang hanya 11.8 %. Hal ini bisa terjadi karena adanya rongga-rongga pada kolom retrofit D.1, karena kolom retrofit D.1 yang memiliki variasi jarak sengkang yang lebih rapat (5 cm) sehingga pada saat pengecoran, agregat tidak seluruhnya mengisi bagian kolom retrofit yang dikarenakan jarak sengkang yang lebih rapat dibandingkan dengan ruang yang akan dicor. Hal ini bisa mengakibatkan kolom retrofit D.1 tidak bisa berdeformasi sebesar kolom retrofit D.2 atau lebih cepat mencapai titik runtuh, dimana akan mempengaruhi pada kedaktilan kolom.



Gambar 4.45. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit D.1-D.2



Gambar 4.46. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit D.1-D.2

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil yang diperoleh dan dibandingkan antara variasi C.1 dan C.2 menunjukkan bahwa jenis kolom C.2 dengan variasi jarak sengkang 7.5 cm memiliki nilai gaya tekan maksimum yang sedikit lebih tinggi sebesar 5.4 % jika dibandingkan dengan kolom C.1. Sedangkan dari hasil yang diperoleh dan dibandingkan antara variasi D.1 dan D.2 menunjukkan bahwa jenis kolom D.1 dengan variasi jarak sengkang 5 cm memiliki nilai gaya tekan maksimum yang lebih tinggi sebesar 13.29 % daripada jenis kolom D.2.
2. Kolom retrofit C.2 memiliki nilai kekakuan, dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan jenis kolom C.1 lebih besar masing-masing 84.54 % dan 83.86 % dibandingkan jenis kolom C.1. Namun kolom C.1 memiliki nilai daktilitas yang jauh lebih efektif dibandingkan dengan kolom C.2, dimana kolom C.1 mengalami peningkatan daktilitas sebesar 41 % sedangkan kolom C.2 mengalami penurunan daktilitas sebesar 47%. Kolom retrofit D.1 memiliki nilai kekakuan, dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan jenis kolom D.2 besar masing-masing 22.73 % dan 23.21 % dibandingkan jenis kolom D.2. Namun kolom D.2 memiliki nilai daktilitas yang lebih baik, dimana terjadi peningkatan daktilitas sebesar 126 %, sedangkan jenis kolom D.1 hanya sebesar 94 %.
3. Untuk nilai efektifitas dari variasi jarak sengkang kolom diambil dari pertimbangan nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas dari masing-masing variasi kolom retrofit yang dibandingkan, bukan dari peningkatan nilai gaya tekan dan daktilitas dari kolom utama ke kolom retrofit. Hal ini dikarenakan nilai kekakuan dan modulus elastisitas selalu berbanding lurus dengan gaya tekan maksimum, apabila gaya tekan maksimum kolom retrofit yang dibandingkan lebih besar maka kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit tersebut akan lebih besar juga, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu nilai efektifitas diambil dari nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas. Secara umum kolom retrofit dengan variasi jarak sengkang 5 cm (kolom retrofit C.1 dan D.1) akan lebih efektif dibandingkan dengan jarak sengkang 7.5 cm (kolom retrofit C.2 dan D.2). Hal ini

dikarenakan semakin rapat jarak sengkang yang dipasang maka efek kekangan dari sengkang tersebut akan semakin besar pula, sehingga menyebabkan peningkatan gaya tekan dan daktilitas. Namun pada perbandingan variasi D.1-D.2 terdapat sedikit catatan yang mengakibatkan nilai efektifitas dari D.2 lebih besar daripada D.1.

5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan kepada peneliti yang ingin melanjutkan daripada penelitian ini antara lain:

1. Penggunaan metode shotcrete dengan mortar pada saat pembuatan kolom retrofit. Hal ini dikarenakan penggunaan metode rojok pada saat pengecoran kolom retrofit sangat susah dilakukan, dan hasil pada saat bekisting dibuka tidak sepenuhnya permukaan beton mulus seperti beton biasanya. Sehingga diperlukan proses *grouting* untuk menambal permukaan yang berongga. Bahkan hal yang lebih ditakutkan lagi bagian dalam kolom retrofit memiliki banyak rongga, dimana hal ini mampu berdampak pada kuat tekan yang mampu diterima oleh kolom tersebut.
2. Perlekatan antara kolom asli dan retrofit yang tidak sempurna, perlu diperhatikan pada saat proses pemberian *bonding agent* sebelum pengecoran kolom retrofit. Dimana pemberian *bonding* yang tidak sempurna maka antara kolom retrofit dan kolom asli tidak akan bisa menyatu dengan sempurna, dan berakibat pada hasil gaya tekan dan defleksi yang akan ditimbulkan. Oleh karena itu perlu diperhatikan dengan baik pada proses ini, atau mungkin bisa ditemukan bahan lain untuk melekatkan kolom retrofit dengan kolom asli sehingga dapat *monolite* secara sempurna.
3. Penggunaan LVDT pada saat pengujian, karena dengan menggunakan dial gauge pembacaan defleksi menjadi terbatas. Dial gauge tidak bisa menunjukkan nilai defleksi sampai kolom retrofit pada saat benar-benar hancur, hal ini dikarenakan panjang jarum dial gauge yang pendek berbeda dengan LVDT yang memiliki jarum pembacaan lebih panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Cusson, D. dan Paultre, P. 1995. *Stress Strain Model for Confined High Strength Concrete*. Jurnal of Structural Engineering. Vol. 121 (3), halaman 468 – 477.
- Dipohusodo, I. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- McCormac, J.C. 2004. *Desain Beton Bertulang*. Jilid ke-1. Sumargo, penerjemah : Sinamarta L, editor. Jakarta: Penerbit Erlangga. Terjemahan dari : Design of Reinforced Concrete Fifth Edition.
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Nawy, G.E. 1985. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Suryoatmono B, penerjemah. Bandung : PT. Refika Aditama. Terjemahan dari : Reinforced Concrete – A Fundamental Approach.
- Nurlina, S. 2008. *Struktur Beton*. Bargie Media. Malang.
- Park, R & Paulay, T. 1974. *Reinforced Concrete Structures*. New Zealand : Departement of Civil Engineering, University of Canterbury.
- Perdana, R.A.S. 2018. *Pengaruh Jarak Senggang dari Metode Jaket Beton Bertulang Bambu pada Kolom Beton Bertulang*. Malang: Universitas Brawijaya
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Tavio., Wimbadi. I., & Roro. 2011. *Studi Daktilitas Kurvatur Pada Kolom Persegi Panjang Beton Infrastruktur Bertulang Terkekang Dengan Menggunakan Visual Basic 6.0*. Seminas Nasional VII Penanganan Kegagalan Pembangunan dan Pemeliharaan. Surabaya : Institut Teknologi Surabaya.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

